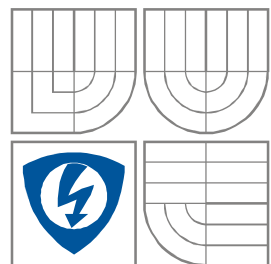


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

Pravidla návrhu elektronických přístrojů s jednočipovými mikropočítači ATMEL z hlediska EMC

Design rules for electronic system with Atmel microprocessors from the EMC Point of view

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Jiří Kaštan

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

BRNO, 2008

ZDE JE ORIGINÁL ZADÁNÍ

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Jiří Kaštan
Bytem: Dobrá Voda 56, Křižanov, 594 1
Narozen/a (datum a místo): 20. července 1983 v Mostišťě

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce
- ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Pravidla návrhu elektronických přístrojů s jednočipovými mikropočítači ATMEL z hlediska EMC

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Robert Pasz

Ústav: Ústav radioelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: _____

VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

- ☒ v tištěné formě – počet exemplářů: 2
- ☒ v elektronické formě – počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 30. května 2008

.....
Nabyvatel

.....
Autor

POPISNÝ SOUBOR ZÁVEREČNÉ PRÁCE

- Autor: Bc. Jiří Kaštan
- Název závěrečné práce: Pravidla návrhu elektronických přístrojů s jednočipovými mikropočítači ATMEL z hlediska EMC
- Název závěrečné práce ENG: Design Rules for Electronic Systems with ATMEL Microprocessors from the EMC point of View
- Anotace závěrečné práce: Diplomová práce pojednává o základních znalostech elektromagnetické kompatibility soustředěné na elektromagnetické rušení vycházející z aplikace založené na funkci řídicí jednotky plynového kotle firmy Honeywell, pro kterou autor zhotoví DPS včetně softwarového vybavení v jazyce C. Pro důkladnější detekci zdrojů rušení byly navrženy další varianty desek plošného spoje se samostatným mikroprocesorem, na kterých byly zkoumány vlastnosti stínících ploch umístěné přímo pod mikroprocesorem. Na základě pravidel získaných během této diplomové práce byla na závěr sestavena aplikace, která měla omezené nežádoucí rušení.
- Anotace závěrečné práce ENG: This diploma thesis is dealing with the basic knowledge of the Electromagnetic compatibility. It's concretely target on electromagnetic interference flowing from the application of electronic gas control by Honeywell company. Author compile the power control board with including software in language C. The next alternates of power control board with the separated microprocessor were designed for the more extended source detection. On these boards there were explored shielding surface features placed directly under the microprocessor. The application reducing the interference was designed in accordance to the rules finding out during this diploma thesis writing.
- Klíčová slova: elektromagnetická kompatibilita,minimalizace elektromagnetické interference z mikroprocesoru Atmel, snižování emisivity, vyzařování, diplomová práce
- Klíčová slova ENG: electromagnetic compatibility, minimization of electromagnetic interference from the microcontroler Atmel, reduction of emission, interference, diploma thesis
- Typ závěrečné práce: diplomová práce

Datový formát elektronické verze:	pdf, doc
Jazyk závěrečné práce:	čeština
Přidělovaný titul:	Ing.
Vedoucí závěrečné práce:	Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.
Škola:	Vysoké učení technické v Brně
Fakulta:	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav / ateliér:	Ústav radioelektroniky
Studijní program:	Elektrotechnika, elektronika, komunikační a řídicí technika
Studijní obor:	Elektronika a sdělovací technika

Bibliografická citace mé práce:

KAŠTAN, J. Pravidla návrhu elektronických přístrojů s jednočipovými mikropočítači ATMEL z hlediska EMC. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Pravidla návrhu elektronických přístrojů s jednočipovými mikropočítači ATMEL z hlediska EMC jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 30. května 2008

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce **Ing. Robertu Paszovi** a **Ing. Tomáši Urbancovi, Ph.D.** za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Dále děkuji společnosti Honeywell za odbornou pomoc při měření v laboratořích a podporu elektronických součástek.

V Brně dne 30. května 2008

.....
podpis autora

Obsah:

1	Úvod	1
2	Problematika elektromagnetické kompatibility	2
2.1	Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů	2
2.2	Členění oboru EMC	3
2.2.1	Elektromagnetická susceptibilita (EMS)	3
2.2.2	Elektromagnetická interference (EMI)	3
2.3	Základní pojmy a definice EMC	4
2.4	Druhy elektromagnetického rušení	6
2.5	Šíření rušení a elektromagnetické vazby	7
2.5.1	Galvanické vazby	8
2.5.2	Indukční vazby	8
2.5.3	Kapacitní vazby	9
2.5.4	Vazba vyzařováním do prostoru	9
3	Normy a doporučení v oblasti EMC	10
4	Základní aspekty návrhu elektronických přístrojů a jejich DPS	12
4.1	Základní pravidla pro návrh v souladu s EMC	12
5	Návrh aplikace „Spark board“ pro experimentální měření EMC	15
5.1	Základní kroky a postup práce:	15
5.2	Návrh aplikace „Spark board“ a realizace DPS	15
6	Měření vyzařování na EMC skeneru Detectus	21
7	Výsledky měření	23
7.1	Varianta 1	23
7.2	Varianta 2	25
7.3	Varianta 3	27
8	Návrh přípravku, pro minimalizaci rušení vycházejícího z mikroprocesoru	28
8.1	CPU_only varianta 1	30
8.2	CPU_only varianta 2	31
8.3	CPU_only varianta 3	32
8.4	CPU_only varianta 4	33
8.5	CPU_only varianta 5	34
8.6	CPU_only varianta 6	35
8.7	CPU_only varianta 7	36
8.8	CPU_only varianta 8	37
8.9	CPU_only varianta 9	38
9	Úprava aplikace Spark board	38
10	Získaná návrhová pravidla pro DPS	41
11	Návrh nové verze aplikace Spark board NEW	42
11.1	Měření desky nového návrhu, Varianta 1	43
11.2	Varianta 2	44
12	Závěr	45
13	Literatura	46
14	Seznamy zkratk	47
15	Seznam obrázků a příloh	47
16	Přílohy	49
16.1	Ovládání programu Detectus	Příloha 4
16.2	Další druhy měření interference aplikací	Příloha 5
16.3	Znění norem	Příloha 7

1 Úvod

S prudkým rozvojem elektroniky také neustále stoupá množství používaných elektronických zařízení a tím i úroveň rušení ve všech kmitočtových pásmech (prakticky od 0 Hz až do stovek GHz). Elektronická zařízení nebo přístroje obsahují různé zdroje rušení, pracující na různých kmitočtech, generátory různých impulsních signálů (např. pro přenos obrazu, GSM signálu atd.), výkonové zesilovače jak vysokofrekvenční, tak i nízkofrekvenční a impulsní. Všechny tyto části zařízení pracují na poměrně odlišných výkonových úrovních od jednotek wattu až do megawattů. Pokud jsou ve stejných či sousedících zařízeních citlivé přijímače, pracující na podobných kmitočtech, citlivé zesilovače či mikroprocesorové obvody, které často zpracovávají extrémně nízké úrovně výkonu řádově až 10^{-12} W, je riziko vzájemného rušení za těchto podmínek velké.

Rozvoj elektroniky a mikroprocesorové techniky radikálně mění jak koncepci a způsoby použití elektronických zařízení, tak i nároky na jejich instalaci a stanoviště. Proto je nutné již při vývoji aplikací a systémů klást důraz na minimalizaci úniků nežádoucího rušivého pole vycházejícího z aplikace do prostoru.

Cílem této diplomové práce je najít způsoby a pravidla návrhů přístrojových aplikací z hlediska elektromagnetické kompatibility (**EMC**) zaměřené na elektromagnetické rušení (**EMI**) vycházející z mikroprocesorové aplikace. Čtenáře nejprve seznámí se základními poznatky elektromagnetické kompatibility, jejím rozdělením na elektromagnetické rušení a elektromagnetickou citlivostí (**EMS**) a seznámí se základními normami, které stanovují meze dovoleného rušení. Dále bude navržena aplikace, na níž budou prováděna měření elektromagnetického rušení a zkoumány metody a pravidla pro návrh desek plošných spojů (DPS) tím, že se bude zjišťovat, která část obvodu (aplikace) jej vytváří. V testovaných vzorcích bude použit mikroprocesor ATmega16 od firmy ATMEL. Tento mikroprocesor je použit ve formě SMD součástky a disponuje řadou vnitřních periférií, mimo jiné i 10-ti bitovým A/D převodníkem s postupnou aproximací, vnitřním RC oscilátorem, čtyřmi časovači a podporou emulace programu pomocí rozhraní JTAG a SPI.

V aplikaci se budou experimentálně zapínat připojené periferie, měnit použité časování, rozložení součástek a zjišťovat závislost na EMI. Rušení, vycházející z jednotlivých částí aplikace, se bude také minimalizovat změnou nastavení softwaru v mikroprocesoru. Na základě těchto provedených měření bude sestaven nový návrh desky plošného spoje původní aplikace, kde budou použita získaná návrhová pravidla DPS z hlediska elektromagnetické kompatibility.

Největších úspor při zohledňování vlivu elektromagnetického rušení se dosáhne, pokud se bere zřetel na dosažení EMC již při návrhu, vývoji a konstrukci zařízení. Neboť každé dodatečné úpravy aplikací, zvláště ze sériové výroby, které mají docílit dodržení mezních elektromagnetických norem, jsou velmi nákladné, a proto je třeba z hlediska EMC věnovat velkou pozornost optimálním návrhům slaboproudých zařízení a systémů.

2 Problematika elektromagnetické kompatibility

Elektromagnetická kompatibilita z překladu Electromagnetic compatibility (EMC) je to definováno jako schopnost zařízení nebo systému správně fungovat ve svém elektromagnetickém prostředí, bez vytváření jiného elektromagnetického rušení, které by bylo nežádoucí pro jiná zařízení. Místo termínu elektromagnetická kompatibilita se někdy používá český ekvivalent elektromagnetická slučitelnost. Pojem „elektromagnetická kompatibilita“ vznikl v šedesátých letech v USA a označuje disciplínu, která zkoumá podmínky slučitelnosti provozu jednotlivých systémů a také zkoumá její optimalizaci. H. M. Schlike, jeden ze zakladatelů elektromagnetické kompatibility jako samostatného oboru, v roce 1968 řekl: ***"Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností"***. Dnes můžeme s jistotou říci, že mu dal čas za pravdu. [2]

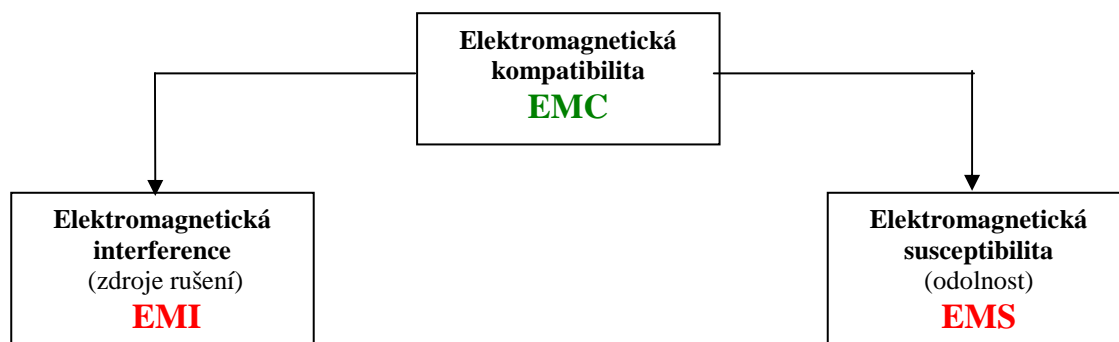
Již delší dobu jsou známy vlivy elektrických polí a elektromagnetických polí na živý organismus, proto patří do elektromagnetické kompatibility i biologické systémy.

2.1 Elektromagnetická kompatibilita biologických systémů

Tato část EMC se zabývá celkovým „elektromagnetickým pozadím“ našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů. Výsledky dosavadních biologických a biofyzikálních výzkumů v souvislosti s ochranou pracovního a životního prostředí nejsou zdaleka jednoznačné. Biologické účinky elektromagnetického pole závisí na jeho charakteru, době působení i na vlastnostech organismu. Každý člověk tedy reaguje na působení elektromagnetického pole jinak. Proto je velmi obtížné analyzovat změny v organismu a na základě statistických výsledků dojít k obecně platným závěrům. Za nežádoucí vlivy na člověka lze dnes považovat nejen přímé působení elektromagnetického pole na jeho pracovišti (závody na výrobu hliníku, obsluha vysílačů, radiolokátory, výpočetní střediska atd.), ale považujeme i dlouhodobé působení elektronizovaného prostředí doma, kde většina lidí tráví hodiny svého času ve „společnosti“ elektrických a elektronických zařízení (televizní a rozhlasové přijímače, kuchyňské spotřebiče, osobní počítače atd.).

2.2 Členění oboru EMC

Celá problematika EMC se člení do dvou základních skupin: Elektromagnetická susceptibilita a elektromagnetická interference. Jak je naznačeno na Obr. 2.1.



Obr. 2.1: Základní členění oboru EMC

2.2.1 Elektromagnetická susceptibilita (EMS)

Elektromagnetická susceptibilita z anglického překladu *Electromagnetic Susceptibility* neboli elektromagnetická odolnost (vůči rušení). Jejím význačným znakem je, že se neměří, ale testuje se na základě funkčních kritérií. Takže se zkoušené zařízení podrobí působení rušivého pole a sleduje se při jaké úrovni emisi nastane poruchový stav a na základě znalostí jeho funkce se stanoví typy poruch odstupňované podle závažnosti. Například:

- Normální funkce
- Ztráta funkce – vyvolání resetu
- Ztráta funkce, která vyžaduje obsluhu.
- Ztráta nebo zhoršení funkce, kterou nelze obnovit (poškození součástek).

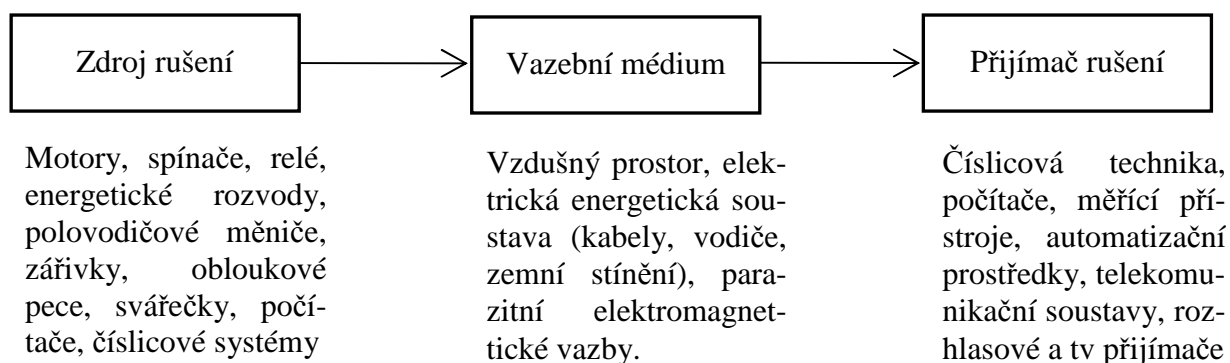
Tímto způsobem se tedy testuje například odolnost proti elektrostatickým výbojům, elektrostatickému poli, skupině impulsů (burstů) a rušení po vedení atd..

2.2.2 Elektromagnetická interference (EMI)

Elektromagnetická interference z anglického překladu *Electromagnetic Interference* neboli elektromagnetické rušení a lze je definovat jako nežádoucí ovlivňování normální funkce elektronického zařízení energií, jejíž frekvenční spektrum se může pohybovat od 0 Hz po desítky GHz. Zdroj rušení tedy přenáší generovaný signál prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. Příčinou vzniku vysokofrekvenčního rušení je taková činnost elektrického zařízení, při které dochází k náhlým změnám proudu procházejícím jednotlivými obvody. EMI se tedy soustřeďuje identifikaci zdrojů rušení a jejich přenosových cest, popisem a měřením signálů vycházejících ze zdroje rušení a jejich odstraňování.

Každé elektrické zařízení, nebo systém může být současně jako vysílačem tak i přijímačem elektromagnetického rušení. Přičemž přijímač a zdroj

elektromagnetického rušení jsou mezi sebou vázány parazitní vazbou. Typickým příkladem systému, kde se nachází zdroj rušení a citlivý přijímač v jednom celku jsou mikroprocesorové systémy a počítače. Hlavním zdrojem rušení v těchto systémech bývají logické obvody pracující s rychlými impulsy nebo také jiné vysokofrekvenční obvody. Jednoduchý příklad takovéto soustavy je na Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Obecné schéma působení tří základních prvků [1]

Základního řetězce EMC, se skládá z těchto složek:

- **oblast zdrojů elektromagnetického rušení** zkoumá otázky vzniku rušení, jeho charakteru a intenzity. Patří sem jednak tzv. přírodní (přirozené) zdroje rušivých signálů (Slunce, atmosférické rušení), umělé zdroje rušení, tj. zdroje vytvořené lidskou činností, k nimž patří nejrůznější technická zařízení – zapalovací systémy, elektrické motory, výroba, přenos a distribuce elektrické energie, elektronická zařízení, elektronické sdělovací prostředky, tepelné a světelné spotřebiče apod.
- **Vazební médium** je elektromagnetické přenosové prostředí a elektromagnetická vazba, tedy způsoby a cesty, kterými se energie ze zdroje dostává do objektů – přijímačů rušení.
- **Oblast přijímače rušení** nebo také rušený objekt, se zabývá podrobnou specifikací rušivých účinků na základě konstrukčních a technologických parametrů analýzy parametrů zařízení. Patří sem číslicová technika, počítače, systémy přenosu dat, měřicí přístroje, rozhlasové a televizní přijímače atd.

2.3 Základní pojmy a definice EMC

Tyto pojmy slouží k popisu uvedených jevů, a jsou proto citovány vybrané definice z Mezinárodního elektrotechnického slovníku [ČSN IEC 50(161)], jak jsou interpretovány normou [ČSN IEC 1000-1-1]. [3]

Elektromagnetické vyzařování (angl. *Electromagnetic radiation*)

1. Jev, při němž energie vychází ze zdroje do prostoru ve formě elektromagnetických vln.

2. Energie přenášená prostředím v podobě elektromagnetických vln. V širším významu výraz „elektromagnetické záření“ zahrnuje někdy též indukční jevy.

Elektromagnetické rušení (*angl. Electromagnetic disturbance*)

Jakýkoliv elektromagnetický jev, který může zhoršit provoz přístroje, zařízení nebo systému, anebo nepříznivě ovlivnit živou, nebo neživou hmotu.

Elektromagnetická emise jev, při němž elektromagnetická energie vychází ze zdroje. Tento pojem je někdy mylně chápán jako „vyzařování“. S pojmem emise by se mělo chápat samotné „záření“ tj. všechny způsoby rušení ve tvaru vyzařovaného pole šířící se galvanickými vazbami v podobě rušivého napětí nebo rušivého proudu.

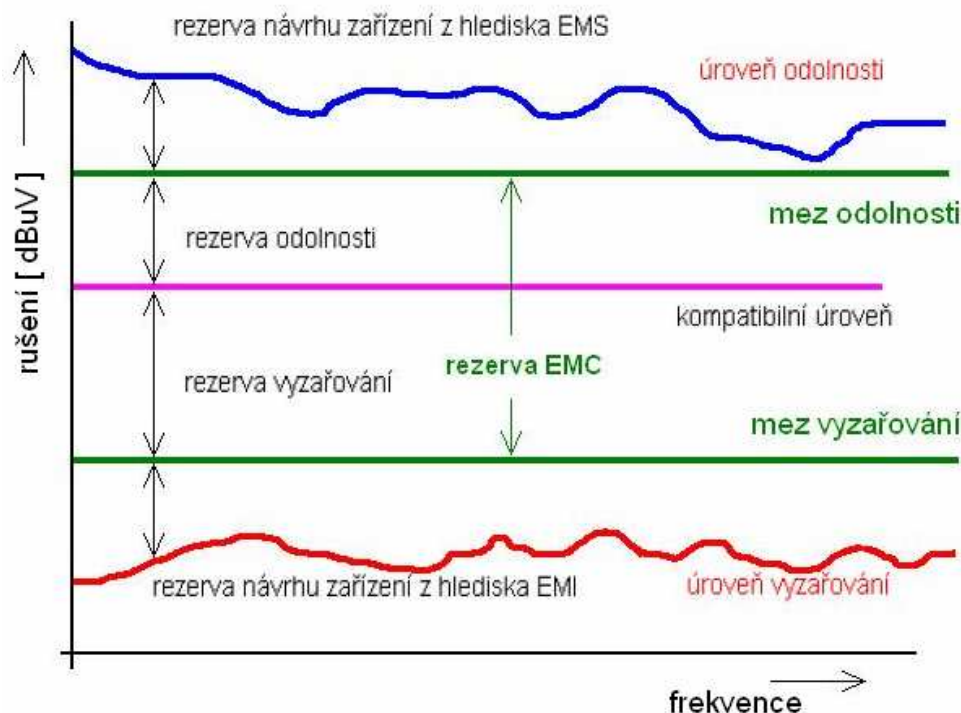
Odrušování - opatření k zeslabení nebo k odstranění elektromagnetické interference.

Mez vyzařování - maximální dovolená úroveň vyzařování.

Úroveň odolnosti - maximální úroveň elektromagnetického rušení působícího na konkrétní přístroj, zařízení nebo systém, při kterém se nevyskytuje zhoršení provozu

Mez odolnosti je nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti zařízení. Rozdíl těchto úrovní udává **rezervu návrhu** zařízení z hlediska jeho odolnosti.

Rozdíl mezi úrovní vyzařování a úrovní odolnosti určuje **rezervu** (rozpětí) **EMC** daného zařízení. Pojem **kompatibilní úroveň** je definována jako maximální předepsaná úroveň celkového rušení, o němž se předpokládá, že bude ovlivňovat přístroje či zařízení provozované v určitých podmínkách. Rozdíly mezi vyzařování a odolností vůči této kompatibilní úrovni určují **rezervu** (rozpětí) **vyzařování** a **rezervu (rozpětí) odolnosti**, jak je naznačeno na Obr. 2.3.



Obr. 2.3: Grafické znázornění souvztažností jednotlivých úrovní a mezí EMC. [2]

Z obrázku je zřejmé, že k tomu, aby dané zařízení vyhovělo (požadavkům) EMC, musí být úroveň jeho vyzařování vždy nižší než jeho mez vyzařování a zároveň úroveň odolnosti zařízení musí být vždy větší než je jeho mez odolnosti. Navíc ale také musí být mez odolnosti větší než je mez vyzařování a tím je dosaženo již zmíněné rezervy EMC zařízení. Konkrétní velikosti těchto rezerv a mezí návrhu daného zařízení jsou převážně dány patřičnými normami např.[ČSN IEC 61000]. O normách se budeme více zabývat v kapitole Normy a doporučení v oblasti EMC. Nicméně tato práce se zaměří na oblast elektromagnetické interference (EMI) návrhových aplikací. To znamená jak zařízení vyzařuje elektromagnetické vlny do prostoru.

2.4 Druhy elektromagnetického rušení

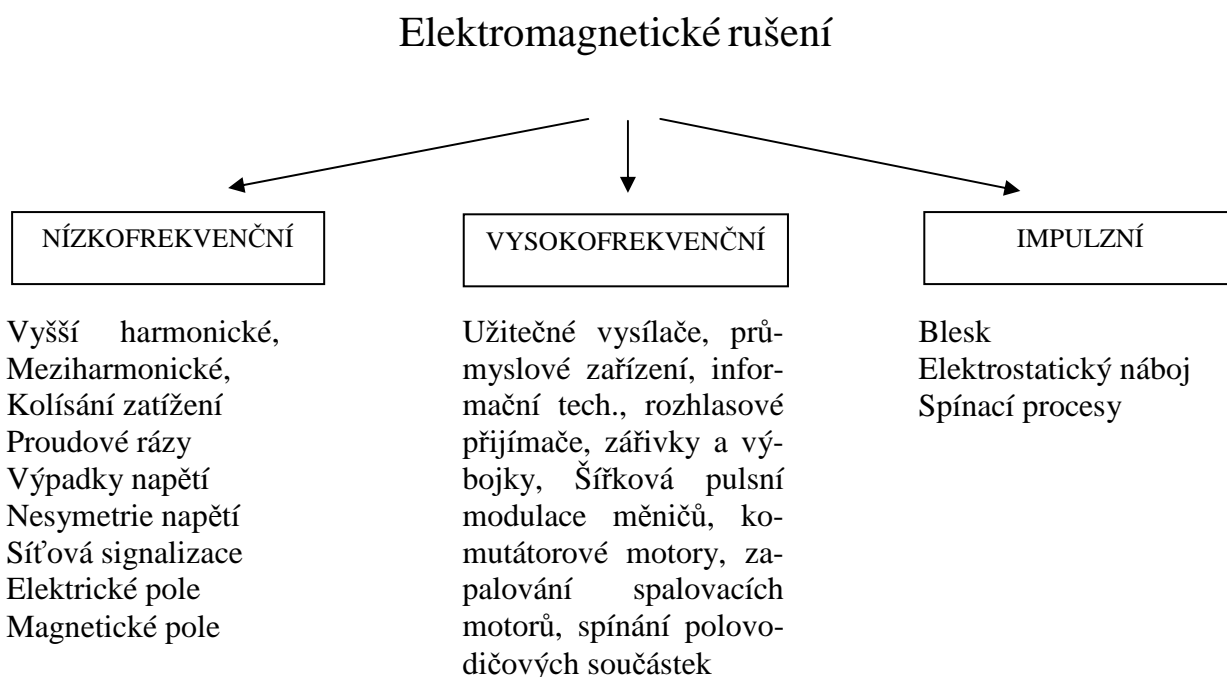
Signály generované zdroji rušení lze podle povahy velmi obecně rozdělit do tří základních skupin:

1. **Šum** – z anglického překladu *Noise*, zkratka **N**. Patří sem změny projevující se především účinkem na tvar křivky napětí. Šum má převážně periodický charakter. Typickými zdroji šumu jsou motory a klasické (rotační) svářečky.
2. **Impulsy** (špičky) - z anglického překladu *Spikes*, zkratka **S** Jsou to změny impulsové povahy, charakterizované velkým poměrem amplitudy k době trvání. Tyto impulsy jsou superponovány na napětí sítě jako kladné, nebo záporné špičky. Typickými zdroji impulsního rušení jsou veškeré kontaktní spínací prvky.
3. **Přechodné jevy** – z anglického překladu *Transients*, zkratka **T**. Jsou náhodné jednorázové děje projevující se v obálce křivky napětí, s dobou trvání od několika milisekund (několika period síťového napětí) až po několik

sekund. Většinou jsou vyvolány náhlou změnou zatížení rozvodné sítě při zapínání a vypínání spotřebičů velkých výkonů.

Kromě těchto umělých zdrojů existují i přírodní zdroje elektromagnetického rušení, jako např. atmosférické výboje.

Základním kritériem pro klasifikaci jednotlivých druhů elektromagnetického rušení je umístění v kmitočtovém spektru. Takto dělíme rušení na nízkofrekvenční, vysokofrekvenční (rádiové) a impulsní viz. Obr. 2.4. Hranicí mezi nízkofrekvenčním a vysokofrekvenčním rušením bývá kmitočet 9 kHz. Původně byly tyto dvě skupiny od sebe výrazně odděleny. Nízkofrekvenční rušení představované kmitočtem sítě a jeho harmonickými (do max. kmitočtu cca 2,5 kHz) a rádiové rušení s dolní hranicí cca 150 kHz. Zvláštní skupinu pak tvoří impulsní rušení představované posloupností jednotlivých impulsů nebo přechodových jevů.[2]



Obr. 2.4: Druhy elektromagnetického rušení

2.5 Šíření rušení a elektromagnetické vazby

Od zdroje k rušenému objektu se elektromagnetické rušení šíří:

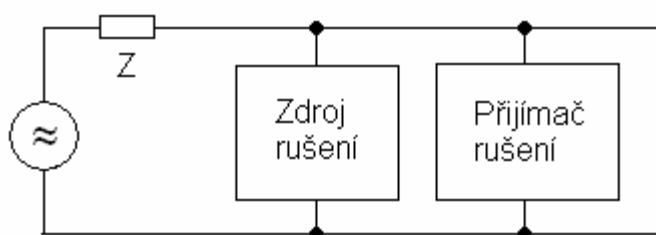
- po vodičích (silových nebo datových) jako elektrické napětí resp. proud neboli galvanická vazba, mezi jednotlivými vodiči se může rušení šířit pomocí kapacitní vazby (kapacitní proud je úměrný strmosti změn rušivého napětí), nebo pomocí indukční vazby (indukované napětí je úměrné strmosti změn rušivého proudu),
- vyzařováním do prostoru jako elektromagnetické pole

V průmyslových systémech většinou převládá rušení po vedeních nad rušením vyzařováním, protože jednotlivá zařízení bývají uzavřena do kovových skříní, které jsou uzemněny. Tím se původní intenzita rušivého elektromagnetického pole těchto

zdrojů podstatně snižuje. Rušení po vedení se tedy váže třemi základními vazbami, galvanická, indukční a kapacitní.

2.5.1 Galvanické vazby

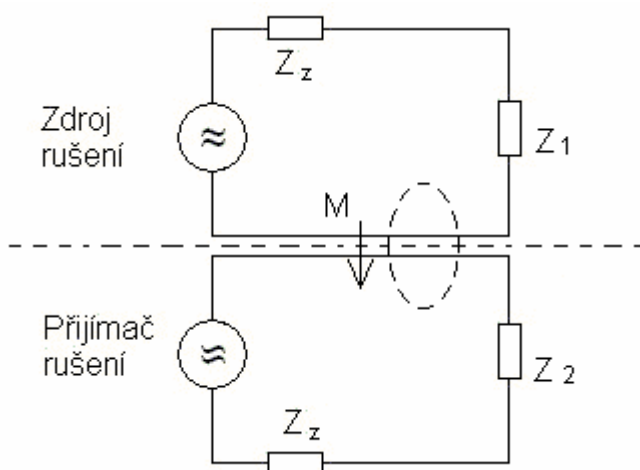
Galvanická vazba vzniká vždy, když mezi zdrojem rušení a přijímačem rušení je společná impedance, která tvoří přenosový člen. Jsou to nejčastěji vodiče napájecí nebo uzemňovací tedy vedení, společné oddělovací transformátory, vznikají na velkých vnitřních odporech zdroje, na malých šířkách spoje na desce plošných spojů, nebo i na špatných kontaktech spínače.



Obr. 2.5: Galvanická vazba

2.5.2 Indukční vazby

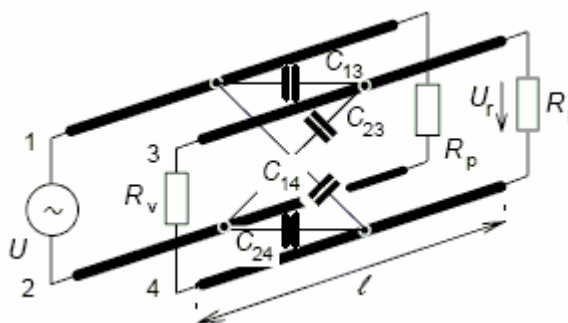
Induktivní vazba vzniká tam, kde elektromagnetická indukce mezi dvěma nebo více elektromagnetickými obvody protéká aspoň jedním z nich elektrický proud. Obecný příklad indukční vazby je znázorněn na Obr. 2.6. Tento druh vazby v podstatě odpovídá principu indukční vazby v transformátoru. Indukční vazba má mnoho závislých faktorů, například velikost vzájemné vazby obvodů M , vzdáleností mezi obvody, délka souběhu, kmitočet rušivého proudu. Indukční vazba se ale také uplatňuje také mezi vedením, stínícími pláště, uzemňovacím vedením a konstrukčními mechanickými prvky.



Obr. 2.6: Příklad indukční vazby

2.5.3 Kapacitní vazby

Kapacitní vazby vznikají převážně mezi vodiči vedenými blízko sebe, hlavně pak ve svazcích vodičů, v kabelech nebo na deskách plošných spojů. Vznikají s růstem impedancí obvodů, se zvyšujícím se kmitočtem a také kvůli přítomnosti parazitních kapacit mezi jednotlivými vodiči a mezi zemními vodiči. Toto pole existuje mezi každými dvěma vodiči (vodivými částmi) s různým potenciálem. Na Obr. 2.7 je uveden příklad kapacitní vazby mezi souběžnými vodiči obvodu rušivého zdroje (vodiče 1 a 2) a ovlivňovaného obvodu (vodiče 3 a 4).

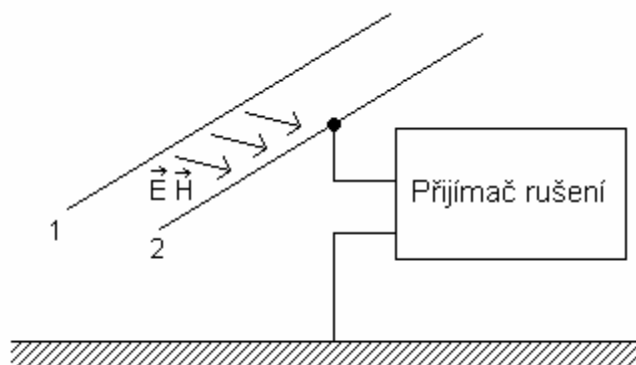


Obr. 2.7: Parazitní kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů. [2]

Kapacita mezi vodiči a mezi vodičem a zemí se zmenšuje s logaritmem vzdálenosti vodičů, popřípadě s výškou vodiče nad zemí a zvětšuje se s průměrem vodiče. Proto pro zmenšení kapacitní vazby je nutné obvod zdroje rušení co nejvíce vzdálit od ostatních obvodů.

2.5.4 Vazba vyzařováním do prostoru

Tato vazba vzniká mezi zdrojem a přijímačem rušení v těch případech, kdy je vyloučena vazba indukční, nebo kapacitní. Lze mezi ně počítat rušení blízkými vysílači nebo atmosférická rušení a do přijímače se dostane většinou anténou, nebo svodem. Rušivé elektromagnetické pole je vyzařováno převážně vedením a proto jeho geometrické uspořádání určuje směr a rozložení jeho rušivé energie v prostoru.



Obr. 2.8: Vazba antény (2) se zdrojem rušivého elektromagnetického pole (1)

3 Normy a doporučení v oblasti EMC

Když bylo v této práci popisováno elektromagnetické vyzařování a s tím související meze vyzařování, meze odolnosti a rezervy EMC, jistě čtenáře napadlo, podle čeho se tyto úrovně a meze definují. V elektrotechnickém průmyslu k tomu slouží normy, předpisy a zákony o EMC, které stanoví příslušný stát, nebo Evropská unie z velmi tvrdých a nekompromisních požadavků směrnic. Tyto schválené zákony jsou logickým výsledkem znalostí obrovského rozvoje elektroniky a respektování zásad elektromagnetické kompatibility související s kvalitou a spolehlivostí výrobků.

Tato kapitola se však nebude zabývat citacemi norem, ale pouze naznačí základní vědění a dělení, které by měl návrhář pro vývoj aplikací respektovat. Ovšem pro dodržení hodnot uvedených v normách nebo pro jejich kontrolování je nutné mít zkalibrované přístroje a pracoviště odpovídající předpisům pro měření elektromagnetického pole. České normy týkající se elektromagnetické kompatibility lze dělit do tří skupin

- **Základní normy** z anglického překladu *Basic Standards*, definují problematiku EMC, popisují a definují rušivé jevy, stanovují hodnotící kritéria pro metody měření interference a testování odolnosti výrobků nebo systémů. Tyto normy nestanovují žádné konkrétní meze rušení či meze odolnosti.
- **Kmenové normy** z anglického překladu *Generic Standards*, tyto normy už specifikují soubor požadavků jak pro vyzařování, tak i pro odolnost na aplikacích nebo systémech s předpokládaným využitím (obytná prostředí, průmyslová prostředí, speciální prostředí apod.). Tyto kmenové normy jsou důležité pro tvorbu výrobních norem a často se odvolávají na základní normy.
- **Předmětové normy** z anglického překladu *Product Standards*, nebo také výrobní normy nebo normy skupin výrobků specifikují nejužší oblast konkrétních výrobků nebo typů výrobků a odvolávají se též na základní normy.

U názvů norem se často setkáme s těmito označeními:

CISPR, CENELEC, IEC, ETSI, ČNI IEEE - je to označení institutu, který normu vytvořil, obecně platí, že normy s označením EN 55xxx jsou převzaty od výboru CISPR a EN 50xxx od CENELEC (např. EN 50174-2 nebo EN 50081-1), dále z organizace IEC pocházejí normy s označením IEC 6xxxx (např. IEC 61024 nebo 60364-4-444) a řada EMC norem IEC 61000-X-Y, kde X značí část dané struktury a Y konkrétní oddíl. Pokud je např. ČSN EN 50xxx, znamená to, že norma je přeložena z mezinárodní normy.

Většina vydávaných norem v oblasti EMC má pouze nezávazný charakter, kde parametry zařízení těmto normám nemusí odpovídat ale dodržení norem je však doporučováno a představuje výhodu nejen při posuzování shody, ale také v oblasti konkurenční v obchodu při vyřizování stížností na rušení. Závazné normy mohou být například v oblasti jaderné energetiky, které mají charakter zákona a umístit na trh lze pouze zařízení, které těmto normám striktně odpovídá.

Pokud se zaměříme na normy týkající se slaboproudých elektrotechnických zařízení v oblasti EMC pro českou republiku to jsou [6]:

- ČSN EN 61000-3 – obsahující meze harmonických rušení v sítích od spotřebičů se jmenovitým proudem $I_j < 16\text{A}$.
- ČSN EN 61000-4 týkající se zkoušek odolnosti.
- ČSN EN 50081-1 týkající se vyzařování - definicí prostorů (Prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu)
- ČSN EN 55011 - Meze a metody měření radiového rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských (PVL) vf. zařízení.
- ČSN EN 55014 – stanovuje meze a metody měření radiového rušení způsobeného od zařízení s tepelným účinkem pro domácnost a podobné účely, elektrickým pohonem, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji. Bližší informace o této normě v příloze.
- ČSN EN 55022 – stanovuje meze a metody měření radiového rušení způsobeného od zařízení informačních technologií. Bližší informace o této normě v příloze.

Tato práce se bude zaměřovat na radiové rušení spadající so frekvenčního spektra od 0,15MHz až 30 MHz, což spíše spadá do rušení šířící se po vedení, proto budeme měřit blízké pole do 150 MHz.

4 Základní aspekty návrhu elektronických přístrojů a jejich DPS

Při vývoji a následně i konstrukci elektronických zařízení s jejich deskou plošného spoje (DPS) se musí každý návrhář řídit několika základními pravidly. Samozřejmě se předpokládá, že vyvíjené zařízení bude plně funkční, spolehlivé a bezpečné. Dále se také z pohledu sériové výroby klade požadavek na design a velikost nákladů na vývoj a výrobu. V současné době je také velmi důležitým aspektem sledovaným při vývoji elektrotechnického zařízení elektromagnetická kompatibilita.

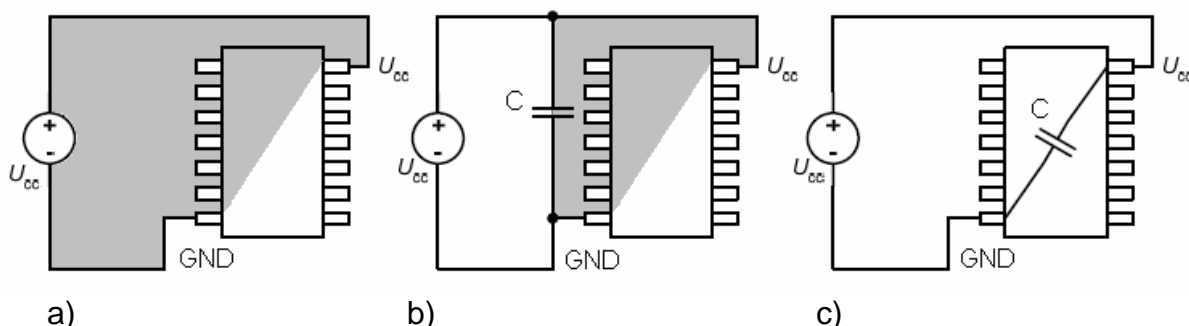
4.1 Základní pravidla pro návrh v souladu s EMC

Dodržení návrhových pravidel v souladu s EMC by měl začít již při ideovém či blokovém návrhu každého zařízení. Hlavním úsilím je omezení vyzařování a zvýšení odolnosti navrhovaného zařízení. Mezi základní návrhová pravidla patří minimalizace hodnot proudů, minimalizace ploch proudových smyček aplikace a minimalizace kmitočtového spektra, které ovlivňují hustotu vyzařovaného elektromagnetického pole. Zvýšení odolnosti zařízení zajistíme především důslednou filtrací a ochranou vstupně-výstupních obvodů a napájení.

Možné způsoby jak minimalizovat nežádoucí parametry:

- **Minimalizace hodnot proudů** = volba vhodných typů součástek, co nejmenší počet synchronně řízených obvodů
- **Minimalizace ploch proudových smyček** = vhodné rozmístění součástek na desce plošného spoje, správné blokování jejich napájení, i pro I/O kabeláže, vhodné vedení spojů, zemnění.

Rychlé spínání mikroprocesorové logiky a jejich periferie způsobuje přenos proudu na zdroj napájecího napětí. Tyto proudové přenosy generují napěťové špičky nebo přenosy mezi vývody pro napájecí napětí přes indukivní zátěž obvodu - Obr. 4.1 a). Tuto zátěž lze omezit připojením blokovacího kapacitoru, čímž se zmenší plocha smyčky jak je uvedeno na Obr. 4.1 b). Blokovací kapacitor by měl být veden co nejkratší cestou mezi vývody pro zem a napájení čímž se ještě minimalizuje vyzařování smyčky viz. Obr. 4.1 c).



Obr. 4.1: Možnosti minimalizace plochy smyčky blokovacím kondenzátorem

Na Obr. 4.1 a) a b) vidíme typické návrhářské chyby, jejich hlavním nedostatkem je velká plocha proudové smyčky, která je v obrázcích znázorněna šedou barvou. Nejideálnější řešení je na Obr. 4.1 c), kde blokovací kondenzátor je umístěn přímo

na napájecích pinech integrovaného obvodu. Toto řešení je z pohledu jednostranné desky nereálné, takže nejlepší řešení je umístit kondenzátor na spodní vrstvu DPS.

- **Minimalizace kmitočtového spektra** = nepoužívat zbytečně rychlé součástky (náběžné a sestupné hrany), zbytečně rychlá datová komunikace.

Pro obvody pracující na kmitočtu vyšším jak 1 MHz, je třeba použít zvláštní metody přenosu signálů, protože může docházet k generování vyšších harmonických složek. Můžeme zde použít dvě kritéria, jak odhadnout, kdy se začínají projevovat tyto efekty [5].

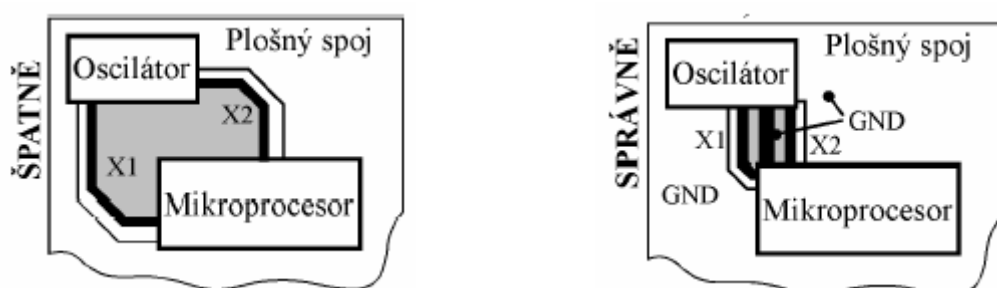
- rozměry obvodu (propojovacích vodičů a desky plošného spoje) srovnatelné s vlnovou délkou signálu. Pokud rozměry obvodu překročí 5 % minimální vlnové délky, dosáhne signálová cesta délky přenosové trasy
- čas náběžné hrany versus zpoždění.

Nejefektivnější cesta pro redukci šumu, elektromagnetické interference a problémů s přenosovými trasami je zmenšení šířky pásma signálu. Jsou dvě metody jak ji omezit:

- snížením frekvence hodin
- zvětšením náběžné a sestupné hrany signálu

V případě, že je v obvodu použit oscilátor, je třeba vést spoje X1 a X2 co nejbližěji u sebe, popřípadě mezi nimi vést vodič GND aby se nevytvářela velká plocha vyzařovací smyčky, jak poukazuje

Obr. 4.2.



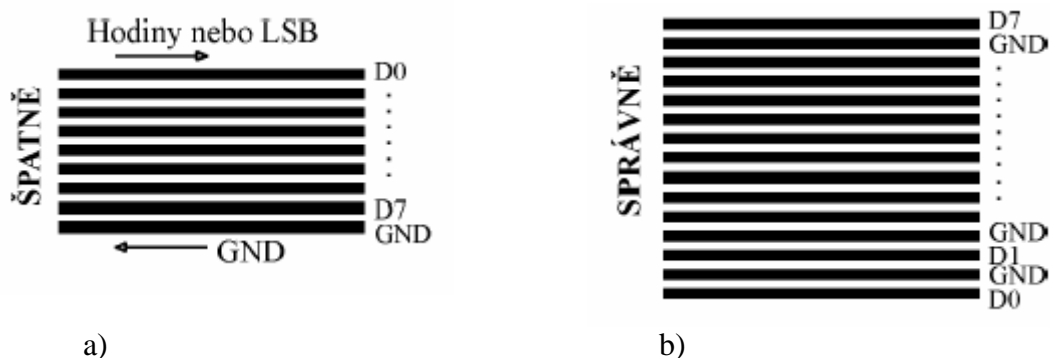
Obr. 4.2: Typické chyby při umístění oscilátoru u mikrokontroléru a její odstranění

Pro dosažení delších tras mezi obvody, můžeme snížit časy hran použitých signálů viz. Tabulka 4.1.

Tabulka 4.1: Maximální možné vzdálenosti pro propojování obvodů [5]

čas náběžné hrany [ns]	maximální vzdálenost [cm]
0,2	0,85
0,5	2,1
1	4,3
2	8,5
3	12,8
5	21
8	34
10	43
15	64
20	85
30	128
50	213
100	427

- **Filtrace a ochrany I/O** = ochrana před ESD a přechodovými jevy, omezení vyzařování do I/O kabeláže.



Obr. 4.3: Typické chyby při návrhu sběrnice na DPS a jejich odstranění

Obr. 4.3 a) je typickou chybou nevhodně navrženého uspořádání sběrnice, a to jak na plošném spoji, tak i v případě kabeláže. Vodič s nejrychlejšími změnami logických úrovní by měl hned sousedit se společným vodičem. Nejlepší úpravou je proložení společných vodičů (GND) mezi každý signálový vodič, což sice téměř zdvojnásobí počet vodičů, ale taková konfigurace sníží úroveň vyzařování sběrnice až o 20 dB. [5] Tuto situaci také řeší profesionální výroba DPS, která umožňuje vícevrstvé desky, kde rozlité měď je bezprostředně vedle signálových vodičů.

V následující kapitola bude řešit návrh desky plošného spoje pro aplikaci na které se bude měřit elektromagnetická interference (rušení) a zjišťovat metodiky návrhu DPS.

5 Návrh aplikace „Spark board“ pro experimentální měření EMC

Cílem této práce je popis a redukce rušení vycházející z mikroprocesorové aplikace, která ovládá plamen v plynovém kotli.

5.1 Základní kroky a postup práce:

1. Navrhnout typickou aplikaci pro řízení funkce kotle, která ovládá vysokonapěťové zapalování plamene a řídí solenoidové ventily přívodu plynu k hořáku.
2. Zajistit způsob rozložení součástek z hlediska funkce a návrhu – „laický“ návrh DPS. Sestavení aplikace (přípravku) jako celek na jedné desce plošného spoje. Bez pravidel návrhu EMC a provést analýzu systému - jaké části produkují elektromagnetické rušení a minimalizovat jej.
3. Změna návrhu DPS – layout, popř. oboustranná DPS
4. Měření, analýza výsledků, porovnání návrhů.

Tyto kroky by měly vést k sestavení potřebných základních pravidel pro návrh aplikací s mikroprocesorovým jádrem. Následujícím krokem je tedy návrh aplikace, která bude mít základní bloky shodné s elektronikou v plynovém kotli. [4].

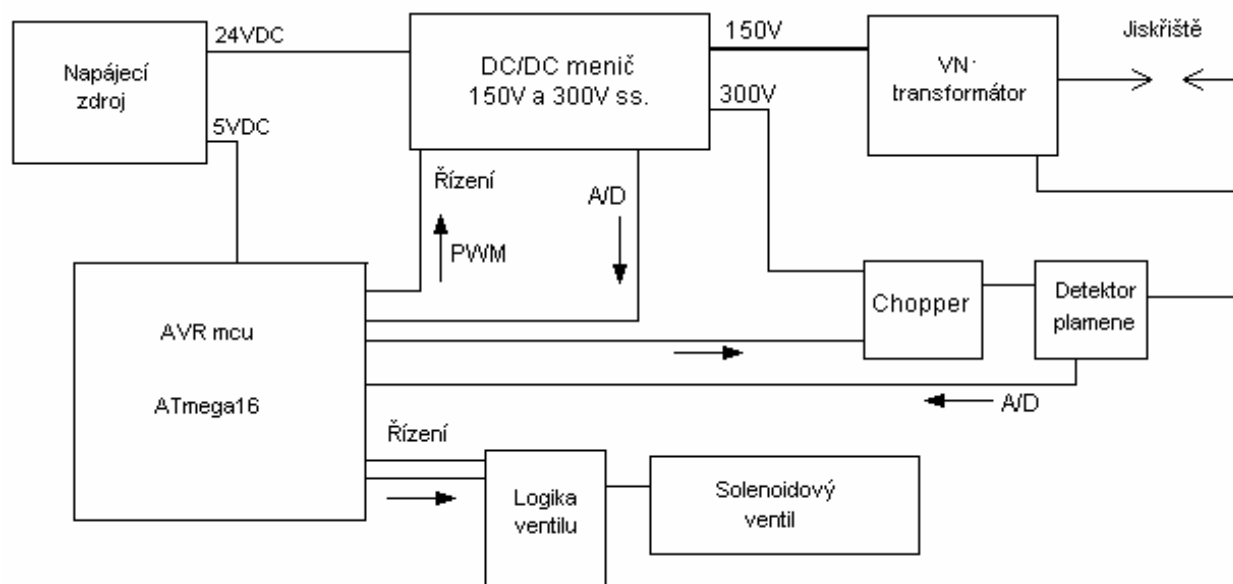
5.2 Návrh aplikace „Spark board“ a realizace DPS

V této kapitole ve stručnosti popíšeme aplikaci, na které se bude měřit její vyzařování.

Jádro elektroniky k ovládání systému kotle tvoří mikroprocesor rodiny AVR, od firmy Atmel. V testovacím přípravku jsme použili řídicí mikroprocesor řady AVR s označením ATmega16L v pouzdru TQPF44. Jedná se o osmi bitový mikroprocesor s 16ti bitovou šíří instrukčního slova. Hlavním důvodem použití mikroprocesoru je jeho nízká cena a výhodou je, že tento procesor obsahuje rozhraní JTAG pro On Chip debug, který zajišťuje přístup ke všem vnitřním perifériím procesoru, interním registrům, programovému čítači atp. a hlavní výhodou je, že pomocí tohoto rozhraní můžeme programovat paměť „Flash“ a krokovat běh programu. Což jistě oceníme při realizaci programového vybavení aplikace. Další rysy mikroprocesoru jsou:

- Rozšířená RISC architektura
- 16k byte vnitřní programová FLASH
- dva 8-bitové a jeden 16-bitový čítač/časovač s předděličkou a porovnávacím a záchytným registrem
- 4 PWM kanály
- 10 –bitový A/D převodník
- Master/Slave SPI rozhraní po které se dá prostřednictvím signálů MOSI, MISO, SCK a RESET naprogramovat procesor i v aplikaci. A další periferie.

Blokové schéma celého systému bude vypadat následovně.



Obr. 5.1: Blokové schéma elektronického zapalování plamene plynového kotle

Řídící program je napsán v jazyce C, který umožňuje vyšší programovací „pohodlí“ oproti assembleru. Moderní překladače jazyka C navíc obsahují výkonné optimalizační mechanismy, které eliminují nevýhodu použití vyššího programovacího jazyka (velikost výsledného kódu).

Základní funkce aplikace tedy jsou:

- Otevření a zavření ventilu
- Zapalování plamene elektrickou jiskrou – vytváření napětí 150V pro indukční cívku
- Sledování plamene ionizační vysokonapěťovou sondou

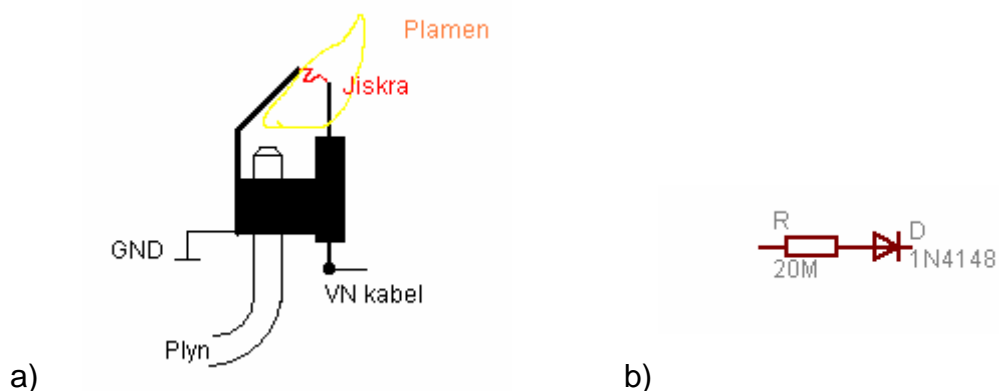
Pro zapálení plamene elektrickým obloukem je třeba vygenerovat vysoké napětí. Toto napětí vyrobíme pomocí vysokonapěťového transformátoru, který budeme budit přerušovanými proudovými impulsy spínanými tyristorem ze stejnosměrného napětí 150 V. Toto napětí vytvoříme pomocí DC/DC měniče z napájecího napětí jednotky 24V. DC/DC měnič tvoří indukční cívka, spínací unipolární tranzistor, diodový násobič a akumulací kondensátor C12. Za hlavním měničem je zařazen ještě diodový násobič, který vytváří napětí 300Vss. Toto napětí je dále použito pro detekci plamene. Schéma měniče je na následujícím obrázku.

Obr. 5.2: Schéma DC/DC měniče a zdroje VN

Tranzistor Q1 je řízen pulzně šířkovou modulací pomocí vnitřního čítače/časovače1 mikroprocesoru, který je v módu Fast PWM 8 bitů a výstup je na pinu PD5 (kanálem OC1A). Výstupní napětí měniče (napětí na C12) je měřeno pomocí A/D převodníku přes odporový dělič 1:40. Napětí na kondenzátoru je dále přivedeno na primární vinutí VN transformátorku a tyristorem Q2 je obvod uzavírán a náboj z kondensátoru C12 se vybíjí do transformátorku. Tato část aplikace bude pravděpodobně nejvíce vyzařovat rušení.

Další částí aplikace je detekce pilotního plamene. Působením plamene nebo radioaktivního záření se vzduch ionizuje a některé molekuly plynů vzduchu se rozštěpí na elektron a kladný iont. Plamen (vzduch) se tím mezi deskami stane vodivým a obvodem prochází proud.

Mechanické uspořádání hořáku pilotního plamínku je ukázáno na Obr. 5.2a) a přibližné elektrické schéma hořícího plamene je na Obr. 5.2 b).



Obr. 5.2: a) Hořák pilotního plamene a detekční kontakt, b) náhradní elektrické schéma hořícího plamene

Stejnoseměrné napětí 300V se tedy pomocí obvodu „Chopper“ převede na obdélníkový průběh o kmitočtu 2403 Hz a amplitudě 300V_{ss}. Toto napětí se pak přivede na detekční kontakt k hořáku a přes sekundární vinutí VN transformátorku se měří přítomnost plamene. Schéma tohoto Chopper obvodu je na obr 5.4.

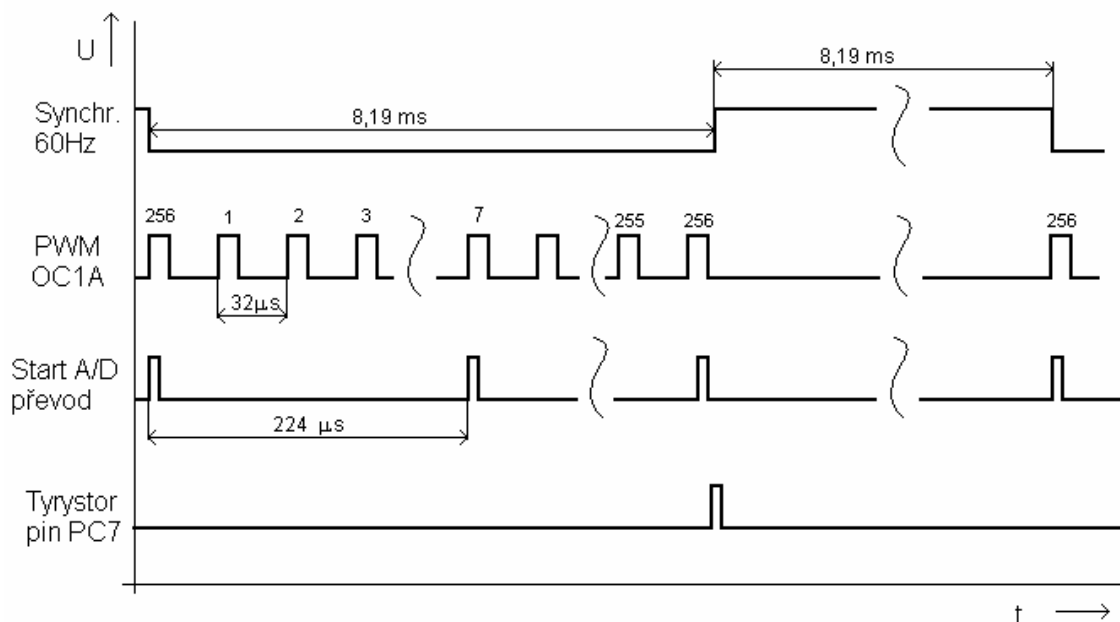
Obr. 5.3: Schéma obvodu detekce plamene.

Posledním obvodem, který může vyzařovat značné elektromagnetické rušení je řízení relé signálem obdélníkového průběhu. Spínací tranzistor relátka se budí přes kapacitor a tudíž při náhodném zacyklení mikroprocesoru (přestane generovat průběh) přestane být relé napájeno. Toto uspořádání je nutné z důvodu bezpečného vypnutí v případě havárie aplikace.

Celkové schéma aplikace je uvedeno v příloze na obrázku Obr. 16.2. Pro tuto aplikaci byla navržena deska plošného spoje, na které se bude měřit spektrum vyzařování EMC. Návrh plošného spoje je „laickým“ způsobem tzn., že nejsou dodržena základní pravidla pro EMC. Pro tento návrh DPS bude vytvořen software pro microchip mega16L, který bude splňovat následující požadavky:

1. Generování PWM o frekvenci 31,25 kHz pro řízení DCDC měniče a udržovat na kapacitou C12 napětí 150V. Změna střídy od 1 do 210 po kroku 5. Max. hodnota je 256=FFh.
2. „sparkování“ (jiskření) - generování vysokého napětí. Obsluha tyristoru společně s DCD měničem tj. impuls do tyristoru po 16 ms šíře min 5 μ s.
3. Obsluha sepnutí relátek obdélníkovým signálem o periodě 415 μ s s proměnnou střídou pro sepnutí relátka.
4. obsluha obvodu Chopper frekvence 2403 Hz, střída 50% .

Modul aplikace „Spark board“ bude z důvodu velkého množství nastavovaných parametrů ovládán přes komunikační rozhraní ISP pomocí zobrazovacího modulu s LCD displejem. Jeho schéma je uvedeno v příloze na Obr. 16.3. Tímto prvkem bude možné ovládat jednotlivé části aplikace samostatně a laborovat s použitými kmitočty. Dále budou tyto dva moduly rozlišovány jako „LCD“ modul a „Spark board“ nebo také „EMC Test Fixture“. Mikroprocesory v obou modulech jsou tedy synchronizovány vnitřním RC oscilátorem na 8 MHz. Časování jednotlivých periférií je znázorněno na Obr. 5.4.



Obr. 5.4: Časování periférií při generování jiskry „spark“

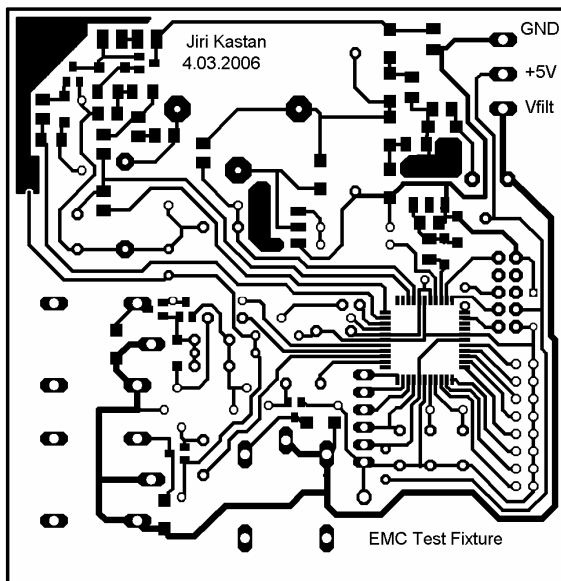
Po spuštění generování PWM (pro řízení Q1) se každé sedmé přetečení časovače-1 (řídí generování PWM) vyvolá start A/D převodníku, tento převodník pracuje jako 10-bitový s taktováním $f_{osc}/4$. Doba konverze je tedy asi 14 taktů hodinového signálu AD převodníku, tzn. že bude trvat $1/(8\text{MHz}/4) \cdot 14 = 7\mu\text{s}$. Po ukončení AD převodu je vždy vyvoláno přerušení, jehož obslužný program porovná naměřenou hodnotu napětí ze vstupu PA7 s přednastavenou hodnotou a v případě nerovnosti se zvětší, nebo naopak zmenší střída PWM.

Pokud je povoleno jiskření, pak s každou lichou synchronizační půlperiodou 60 Hz se vypne výstup kanálu PWM – OC1A a sepne se tyristoru Q2 krátkým impulsem do jeho anody. To způsobí přesun náboje z kapacity C12 do primárního vinutí VN transformátorku. Tyristor se rozepte až po vybití kondenzátoru C12, kdy proud v obvodu kapacitor-tyristor-transformátorek klesne pod vypínací proud tyristoru $20\mu\text{A}$. V této době (LOG 1 synchr. signálu) tedy nepracuje DCDC měnič. Se sestupnou hranou AC napájení se pak jen opět zapne výstup PWM kanálu a napětí na kapacitě C12 se opět zvedne do požadované hodnoty 150V.

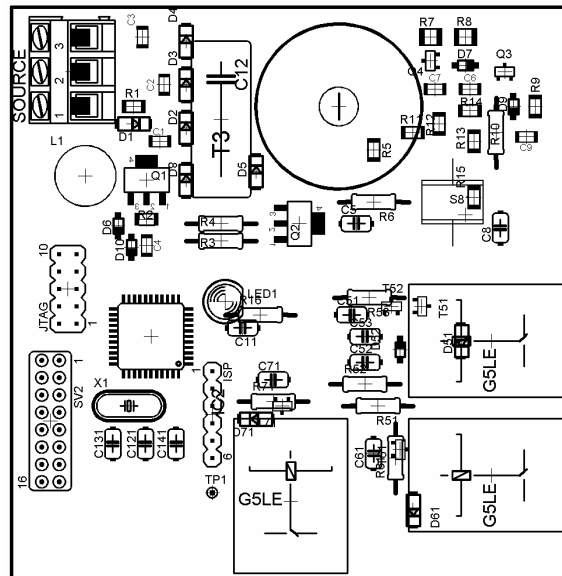
Návrh desky plošného spoje. DPS obsahuje:

- Napájení +5V pro mikroprocesor a 24V pro měnič.
- Rozhraní JTAG pro programování mikroprocesoru.
- Rozhraní ISP pro komunikaci s LCD displejem pro zobrazování dat.
- Vysokonapěťovou svorku
- Vyvedenou jednu bránu procesoru

Layout desky plošného spoje je vidět na následujícím obrázku.

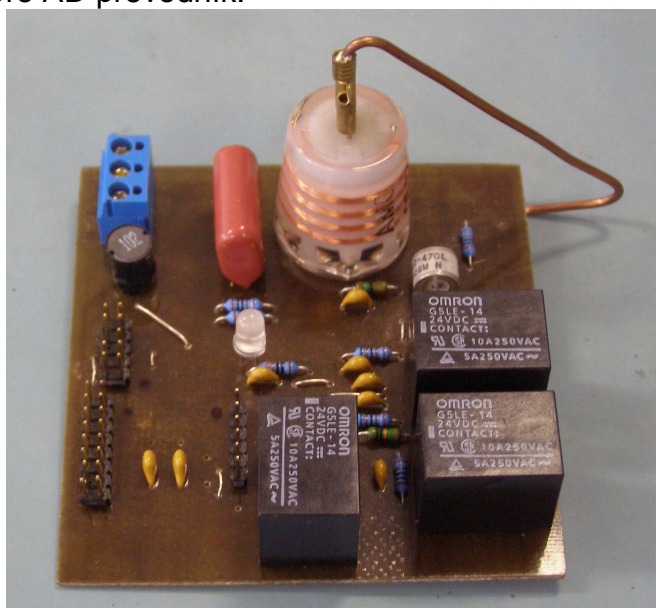


Obr. 5.5: DPS testovacího přípravku
Spark board pro měření EMI



Obr 5.7: Osazení součástek DPS
testovacího přípravku pro měření EMI

Na návrhu desky tedy není u mikroprocesoru umístěn žádný filtrační kapacitor. Ty, které jsou vidět na osazovacím plánu jsou použity k řízení relátek a k ustálení měřených hodnot pro AD převodník.

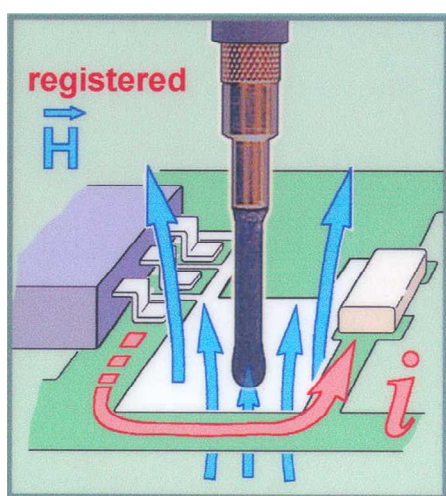


Obr 5.8: Vyrobená a osazená DPS aplikace

6 Měření vyzařování na EMC skeneru Detectus

Z obecného hlediska jsou pojmy měření a „testování“ spolu zaměnitelné, protože smyslem měření (testování) je získat o objektu nějaké informace, které mohou být využity jako podklad pro další vývoj, nebo jako podklad k obchodnímu dokumentu ve formě protokolu, zda objekt vyhovuje nebo nevyhovuje požadavkům norem. V oboru EMC můžeme slovo „měření“ vztahovat k oblasti EMI a slovo „testování“ k oblasti EMS. Při měření rušivých emisí dostáváme číselné údaje naměřených elektrických veličin, které se porovnávají s předepsanými mezními hodnotami norem.

V našem případě budeme měřit intenzitu pole hned u vrstvy plošného spoje, budeme tedy určovat intenzitu v blízkém poli, kde k tomuto měření v kmitočtovém pásmu bude použita malá symetrická dipólová anténa. Tato anténka (sonda) má osu maličké anténky rovnoběžnou s podélnou osou celé sondy. Sonda tedy měří magnetické pole vycházející kolmo ze zdrojů záření viz Obr. 6.1. Jiné sondy mohou mít tuto osu kolmou na osu sondy, tzn. v horizontální rovině a pak lze patřičným natočením této sondy detekovat vodiče na plošném spoji, které září v jednotlivých osách x a y. Měření pomocí těchto měřicích sond není příliš reprodukovatelné, protože naměřený údaj závisí hlavně na vzdálenosti přiblížení nebo úhlu natočení sondy vůči zdroji rušení apod.). V této práci bude toto měření použito jako porovnávací údaj mezi jednotlivými měřeními.



Obr. 6.1: Modelace vycházejícího pole a jeho měření sondou RF B 0,3-3 pro blízké pole.

Jak takovéto měření probíhá je vyfoceno v příloze na Obr. 16.14. Nastavení parametrů při měření je vidět na následujícím obrázku nastavení programu. Viz Obr. 6.2.

Edit spectrum analyzer settings

Setting: 150kHz - 150MHz

Reference level: -20dBm

Reference level offset: 0dB

RF attenuation: 0dB

Units: dBuV

Pre-Scan/MultiScan		Scan
Resolution bandwidth:	30kHz	10kHz
Video bandwidth:	100kHz	30kHz
Center frequency:	75.1MHz	
Frequency span:	149.9MHz	1MHz
Start frequency:	150.0kHz	
Stop frequency:	150.0MHz	
No. of spectrum sweeps:	2	3

Delete Close Save

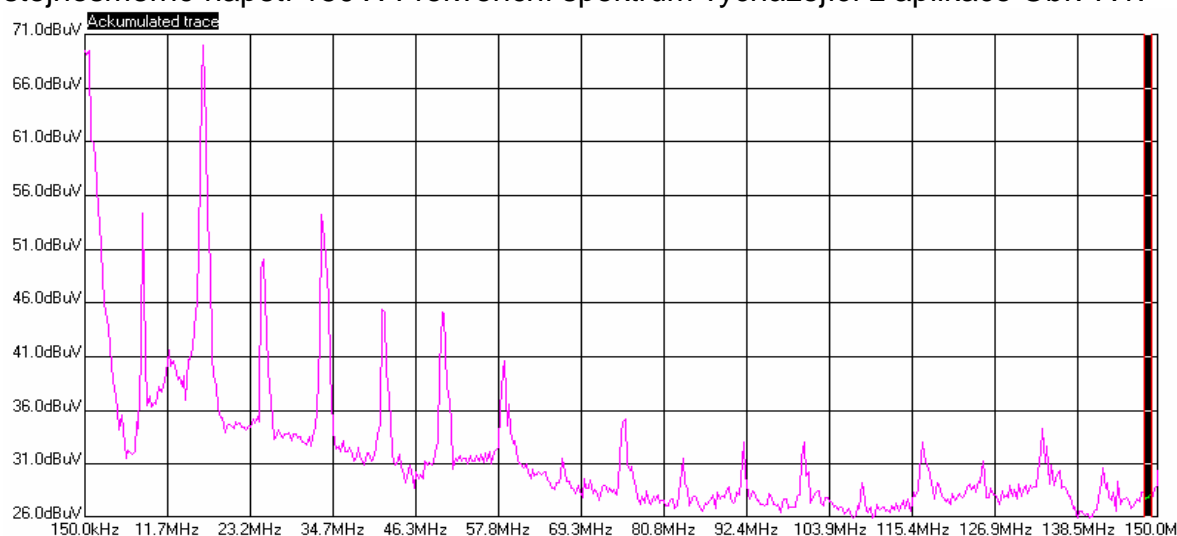
Obr. 6.2: Nastavené parametry při měření v programu Detectus

7 Výsledky měření

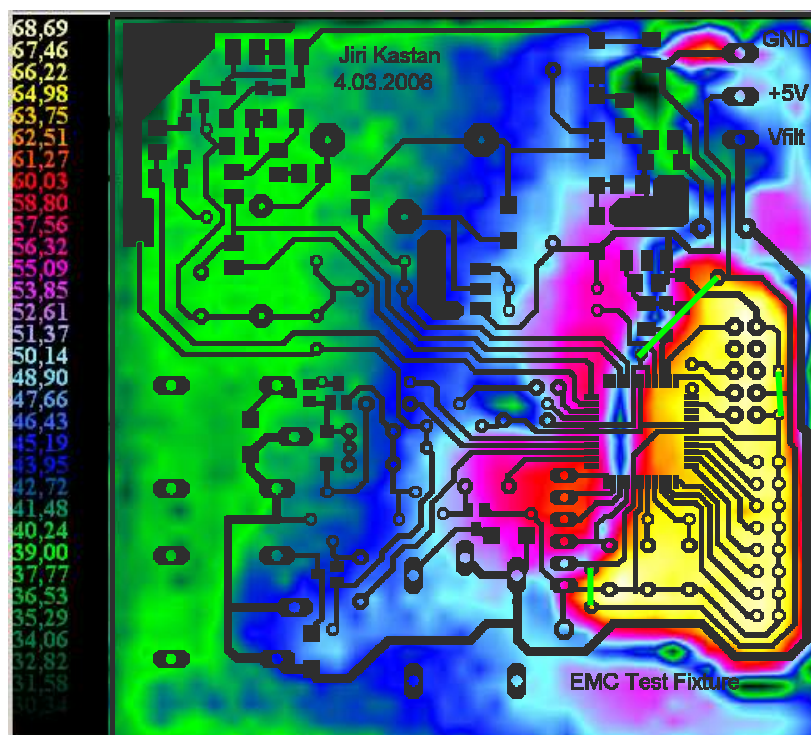
Aplikace z kapitoly 6 byla podrobena měření blízkého pole na EMC skeneru Detectus. Tento Scanner umožňuje pomocí sondy upevněné ve vozíku měřit v nadefinovaném rastru ve třech osách intenzitu pole nad testovaným objektem. Signál ze sondy je zesílen předzesilovačem a potom zpracováván spektrálním analyzérem. U frekvenčních spekter jednotlivých měření jsou u popisu grafu označeny variantami kurzívou (př. *Var1*) názvy datových souborů na příložením CD. Měření, která nejsou v této práci zobrazena je možné najít také na příloženém CD včetně popisu jejich nastavení v souboru *Popis měření.doc*.

7.1 Varianta 1

První měření bylo provedeno se spuštěným měničem DCDC, který vytváří stejnosměrné napětí 150V. Frekvenční spektrum vycházející z aplikace Obr. 7.1.



Obr. 7.1: Frekvenční spektrum desky Spark board se spuštěným měničem DCDC.
Var2

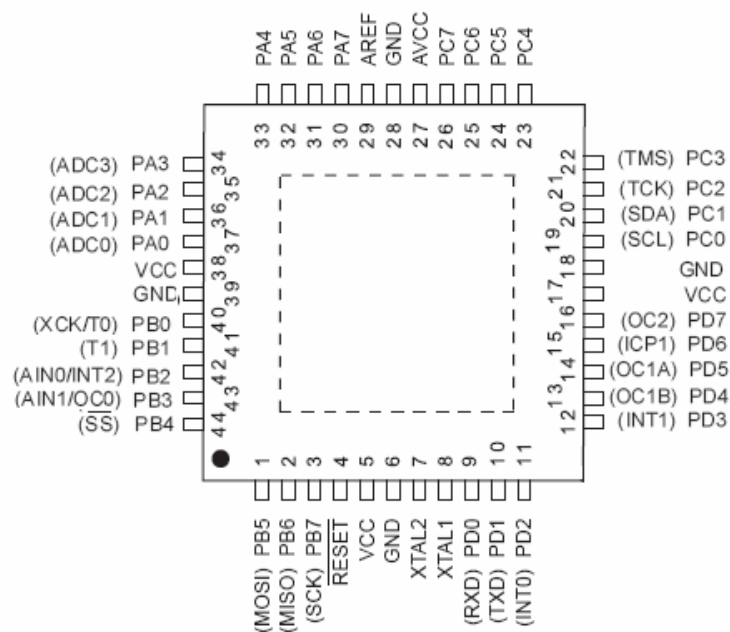


Obr. 7.2: Rozložení pole na frekvenci 16 MHz

Z rozložení pole podle Obr. 7.2 je vidět, že nejvíce rušivého pole vychází z mikroprocesoru. Když se hlouběji zaměříme na obvod smyčky, tj. kde oranžová barva přechází do žluté, tak je vidět, že tato vyzařovací oblast je obklopena měděným spojem vedoucím napájení 5V do procesoru. Zelenou barvou jsou na spoji vyznačené drátové propojky které jsou v druhé vrstvě plošného spoje. Nyní si může čtenář lépe představit smyčku napájecího napětí, která se na plošném spoji uzavírá přes vnitřní vrstvu mikroprocesoru. Více bude vysvětleno pomocí následujícího obrázku o popisu pinů mikročipu - Obr. 7.3, kde jeho poloha přesně odpovídá reálné poloze (natočení) čipu na desce plošného spoje.

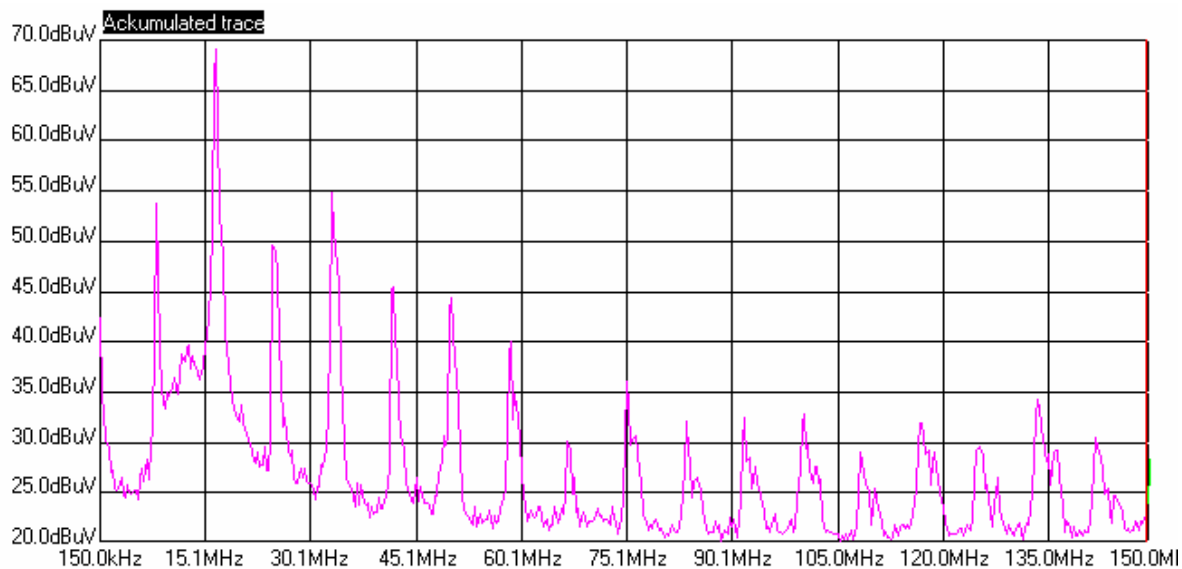
Toto pouzdro procesoru má celkem 4 napájecí „brány“ dvojic Vcc a GND. Celkem 3xVcc pro napájení portů a jádra s periferiemi a jednou AVcc pro napájení analogově digitálního převodníku, kde tři z nich jsou navzájem na vnitřní vrstvě čipu propojeny, tzn. Vcc spolu navzájem a všechny čtyři GND společně navzájem propojeny. Takže jenom AVcc je zvlášť. Toto vnitřní propojení napájecích pinů s velkou pravděpodobností způsobuje zářící smyčku na plošném spoji.

Další variantou možného zdroje rušení také může být šestnácti-pinový konektor do kterého je vyvedena jedna brána procesoru. Při měření rušení vycházejícího z aplikace Spark board byla tato brána v softwaru pro čip nastavena jako vstupní bez připojených pull-up rezistorů. To znamená, že všechny piny byly ve stavu vysoké impedance a neměly by vyzařovat. V dalším měření budeme zkoumat jestli rušení nezpůsobuje výstup pro spínací tranzistor FET z DCDC měniče, který bude vypnut.

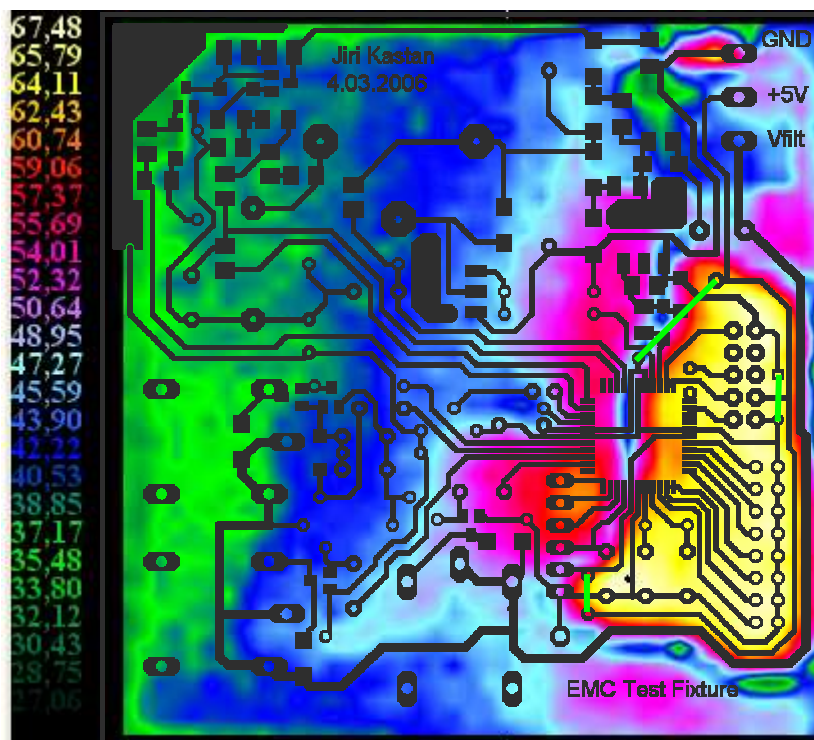


Obr. 7.3: Rozmístění pinů u pouzdra TQFP mikročipu ATmega16L

7.2 Varianta 2



Obr. 7.4: Frekvenční spektrum desky Spark board s vypnutými periferiemi. Var1



Obr. 7.5: Rozložení pole na frekvenci 16 MHz s vypnutými periferiemi

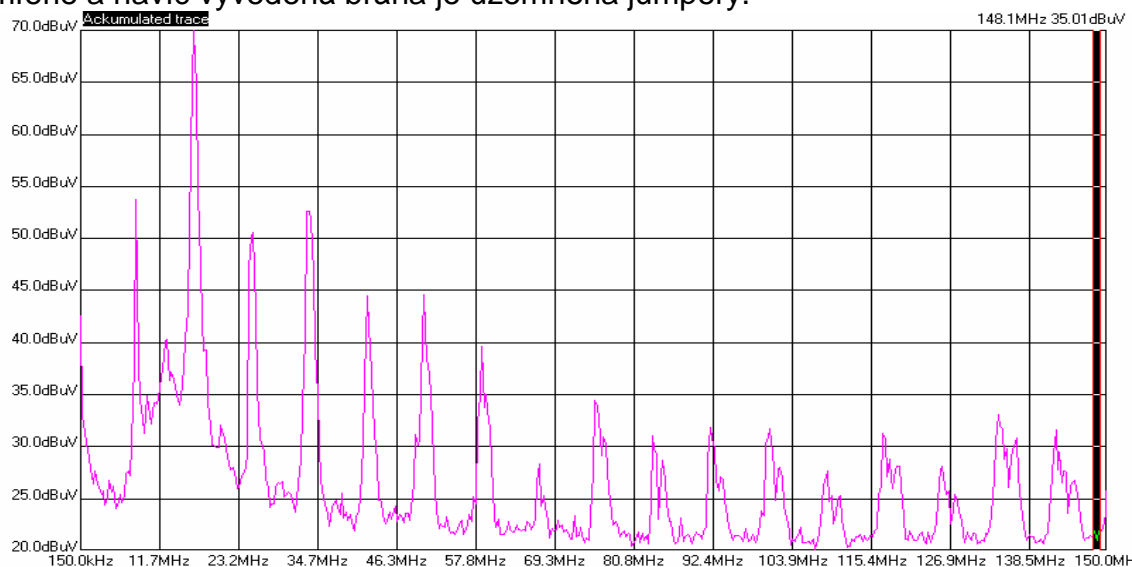
Graf na Obr. 7.4 znázorňuje frekvenční spektrum aplikace s vypnutými periferiemi. Oproti frekvenčnímu spektru z Obr. 7.1. Takže v mikroprocesoru běžela programová smyčka, která pouze četla sériovou linku a neovládala žádné relé ani měnič vysokého napětí. Když porovnáme měření varianty „1“ a „2“ tak můžeme usoudit, že nedošlo k žádnému rapidnímu zmenšení rušivého pole. Znamená to, že vyzařování může vyvolávat pouze mikroprocesor do napájecího napětí, nebo přes vyvedený port PD.

Na dalším měření byla vyvedená sběrnice uzemněna na softwarové úrovni, znamená to, že brána PD vyvedená na šestnáctipinový konektor je uzemněna tak, že programově je na port nastavená logická úroveň LOG 0. Před tím byl tento port jako vstupní. Tato varianta neměla žádný vliv na stav tohoto rušivého pole a výsledky jsou uvedeny na příloženém CD.

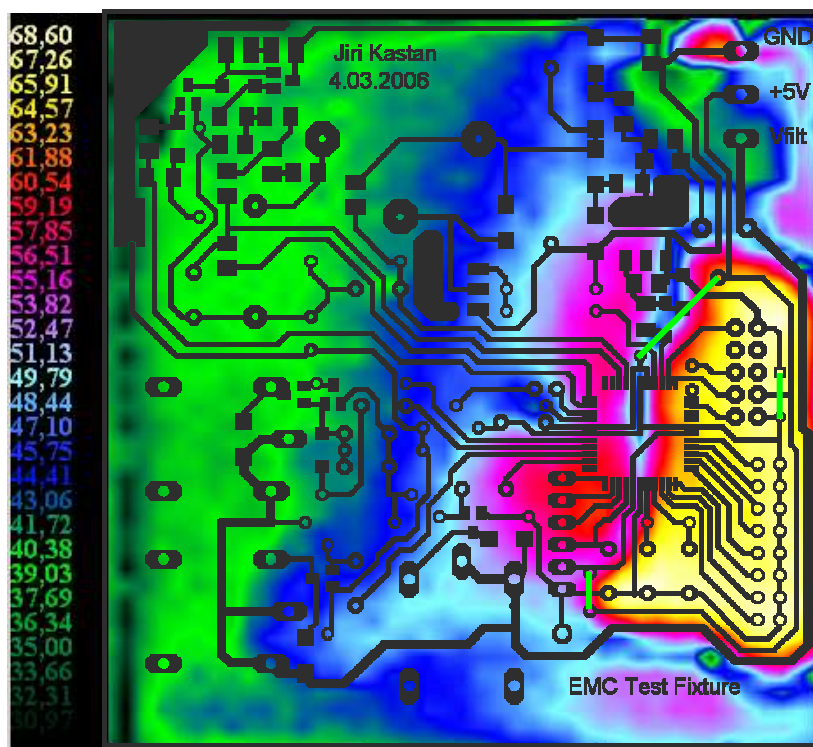
Následující graf ukazuje stejný způsob nastavení, ale výstupní port byl navíc uzemněn jumperem. Graf frekvenčního spektra je uveden na Obr. 7.6.

7.3 Varianta 3

Tomto měření aplikace spark board, mikroprocesor neovládá žádné externí periferie a navíc vyvedená brána je uzemněna jumpery.



Obr. 7.6: Frekvenční spektrum, v CPU nastaveny nepoužité porty na LOG0 a vyvedená sběrnice je navíc pro-zkratována na GND pomocí jumperů. Var6



Obr. 7.7: rozložení 16 MHz u var6

Když porovnáme frekvenční spektrum varianty „3“ a „2“ zjistíme, že je opět téměř podobné, klesla špička na 35 MHz ale rozložení spektra 16MHz se nijak znatelně nezměnilo. Z toho vyplývá, že záření způsobuje smyčka napájecího napětí vodiče +5V, které je vidět na obrázku spoje vedeného vpravo nahoře a přes zeleně označené drátové propojky (ty jsou vedeny ve skutečnosti v horní vrstvě jednostranné desky plošného spoje) na napájecí piny mikroprocesoru a přes jeho

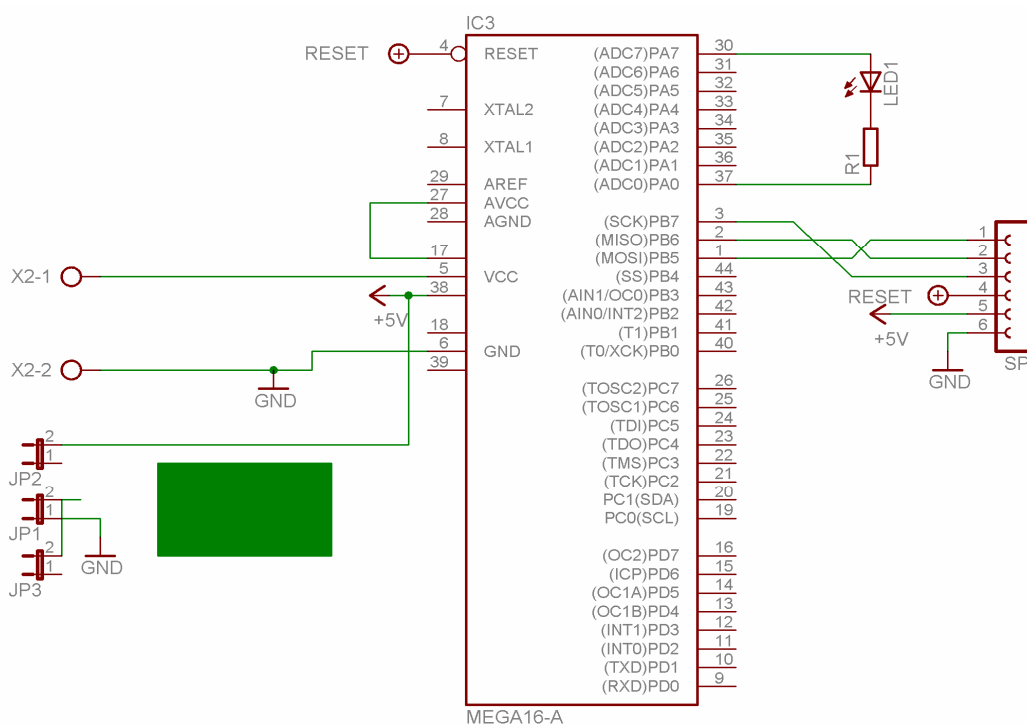
vnitřní propojovací vrstvu se opět vrací na napájecí vodič +5V. V další kapitole se bude řešit návrh a měření malého obvodu s mikroprocesorem bez vnějších periférií.

8 Návrh přípravku, pro minimalizaci rušení vycházejícího z mikroprocesoru

V této kapitole se bude měřit a zkoumat elektromagnetická interference na jednoduché aplikaci s mikroprocesorem, která k sobě nemá připojeny žádné periférie, jen jednu LED diodu napájenou z analogově digitální brány čipu. Schéma zapojení je na Obr. 8.1. Desky plošného spoje byly zhotoveny celkem 4 téměř shodné kusy, kde se jejich návrhy lišily konstrukcí stínící desky pod mikroprocesorem. V jednom případě bylo stínění na horní vrstvě ihned pod čipem, potom bylo ve spodní vrstvě desky opět pod čipem, u třetí varianty desky byly stínění obě (tj. jak vrstva Top, tak i vrstva Bottom) a v posledním případě nebylo použito stínění žádné. Prototypy konkrétních návrhů plošného spoje každé desky jsou umístěny v příloze na Obr. 16.5. Desky jsou očíslovány následovně:

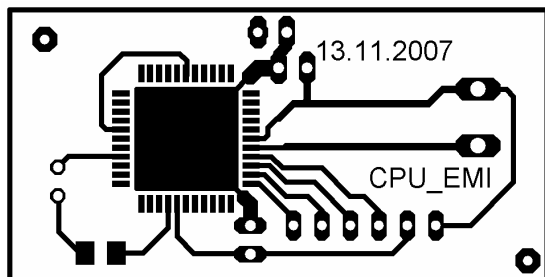
- # 1. Deska bez stínění
- # 2. Stínění je jen přímo pod mikroprocesorem
- # 3. Stínění je za oblast mikroprocesoru, ale z opačné strany DPS (Bottom)
- # 4. Stínění je na obou stranách DPS

Zde je jeden prototyp varianty návrhu destičky plošného spoje pro samostatný mikroprocesor, který bude označován „CPU_only“. Návrh desky plošného spoje je na Obr. 8.2.

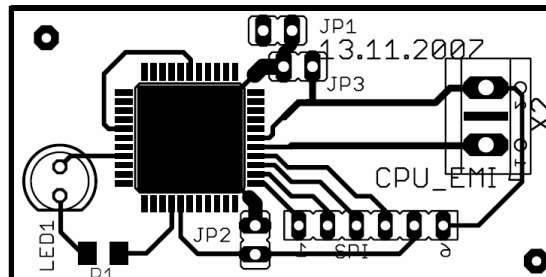


Obr. 8.1: Schéma mikroprocesorové aplikace a DPS

Na deskách byly dále vytvořeny napájecí cesty tak, aby se po nich dal posunovat filtrační kondenzátor napájecího napětí, nebo lépe označen jako blokovací kondenzátor o kapacitě 100nF, kde by se mohlo zjišťovat nějaké odlišnosti emisí na poloze kondenzátoru a vyvodit nebo ověřit nějaká návrhová pravidla. Budeme tedy opět eliminovat EMI.



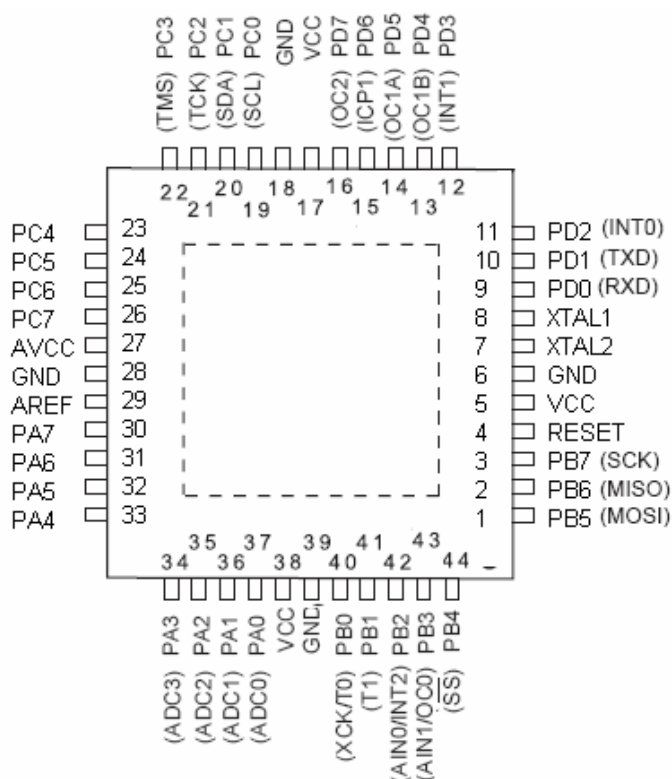
Obr. 8.2: Deska plošného spoje „CPU_only“ #3



Obr. 8.3: Osazení plošného spoje.

Jumperové propojky slouží k variabilnímu propojení stínících desek na uzel +5V (napájení) nebo uzemňovací uzel.

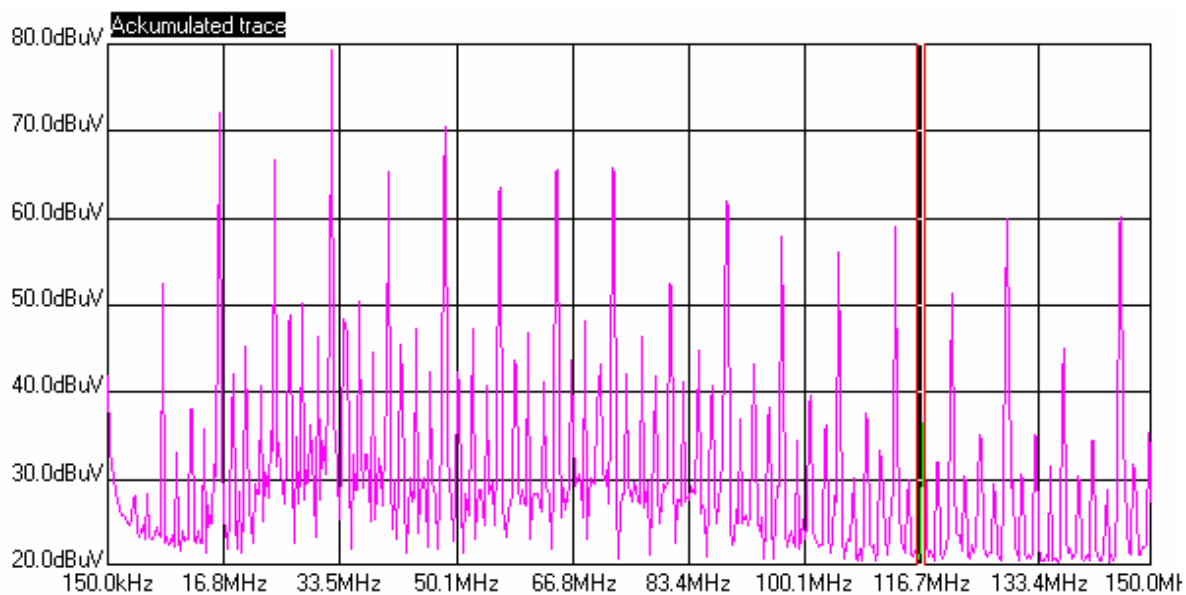
Jednotlivá měření jsou dělena kapitolách podle variant nastavení zkoumané desky. Takže u každého měření jsou popsány důležité změny. V první variantě byla měřena deska CPU_only se stínící deskou přímo pod mikroprocesorem, která byla připojena na vodič GND.



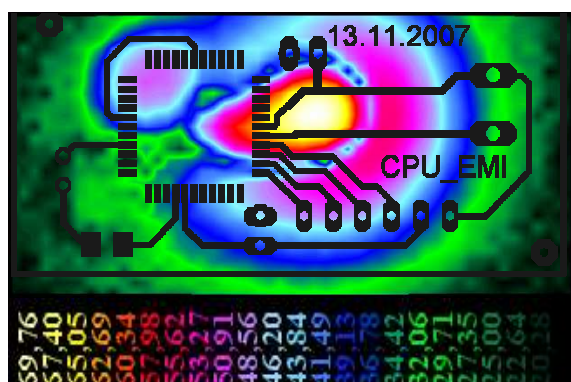
Obr. 8.4: Poloha a rozmístění pinů pouzdra TQFP v CPU_board

8.1 CPU_only varianta 1

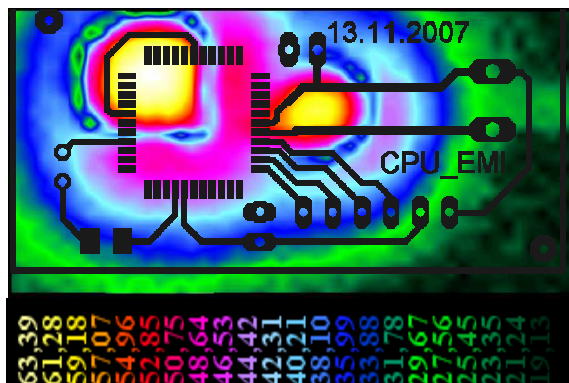
Měření desky CPU_only #2 se stínící deskou připojenou na GND.



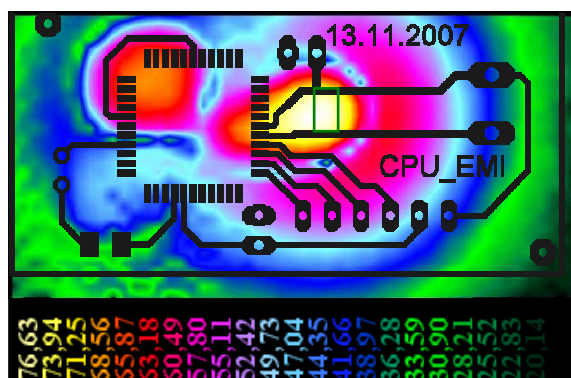
Obr. 8.5: Graf frekvenčního spektra desky #2. Stínící deska na GND. Var1



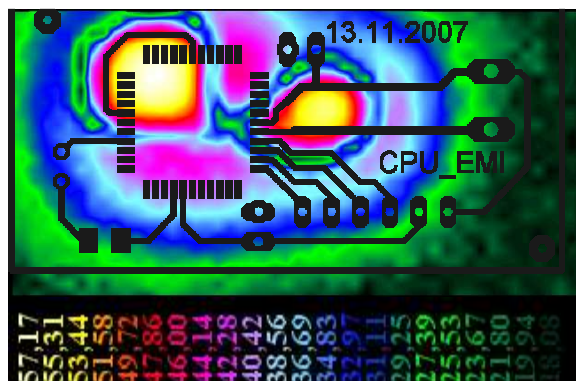
Obr. 8.6: Rozložení pole 16 MHz



Obr. 8.8: 64MHz



Obr. 8.7: Rozložení pole 32 MHz

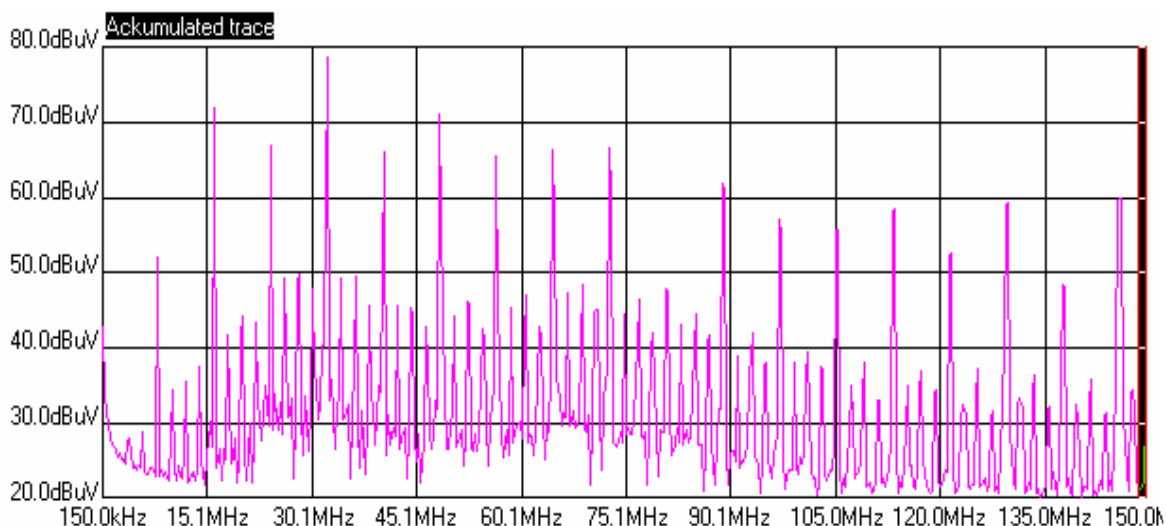


Obr. 8.9: 113MHz

Na tomto případě měření byla stínící deska připojena na napájecí vodič GND. Ve frekvenčním spektru jsou znatelné špičky na 16 a 320 Hz, což jsou harmonické od vnitřního oscilátoru mikroprocesoru, který je taktován na 8 megahertz stejně jako

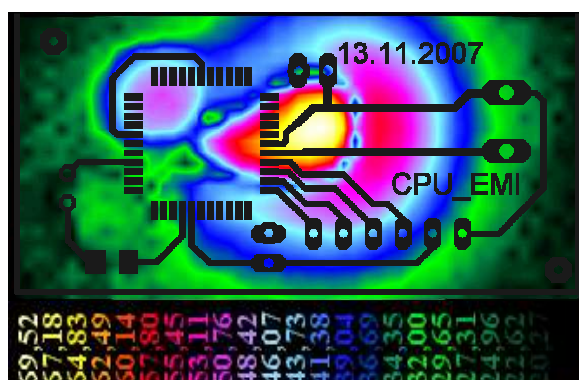
v ostatních případech i napájecím napětím 4,85V. V rozložení pole jednotlivých frekvencí je vidět, že zdroj rušení je jádro mikroprocesoru, které vyzařuje do napájecích pinů. Filtrační kapacitor byl vzdálen na napájecích vodičích zhruba 5mm od konce nožiček mikroprocesoru. V procesoru je nahraný program, který bliká s diodou LED v intervalu 500ms svítí, 300 ms vyplá pomocí smyčky zpoždění. Je to jen proto, aby procesor vykazoval činnost. Do kódu je možné nahlédnout na přiloženém CD. Na Obr. 8.7 je rozložení intenzity nejsilnějšího pole frekvence 32MHz, která se nejvíce opírá do blokovacího kondenzátoru. Druhá významná smyčku vytváří druhý samostatný napájecí pin brány A, která je součástí AD převodníku. Na ostatních obrázcích rozložení frekvencí viz Obr. 8.8, Obr. 8.9 je vidět, že stínící deska má vliv spíše na vyšší kmitočty. Dobře je naznačena fialovou barvou u frekvence 64MHz. Graf frekvenčního rozložení intenzity je překryt návrhem desky plošného spoje aby bylo dobře znatelné, kde se nachází procesor a blokovací kondenzátor. Pro lepší viditelnost v grafu není v zobrazení plošného spoje zobrazena stínící deska, která je součástí označení #2,#3,#4.

8.2 CPU_only varianta 2

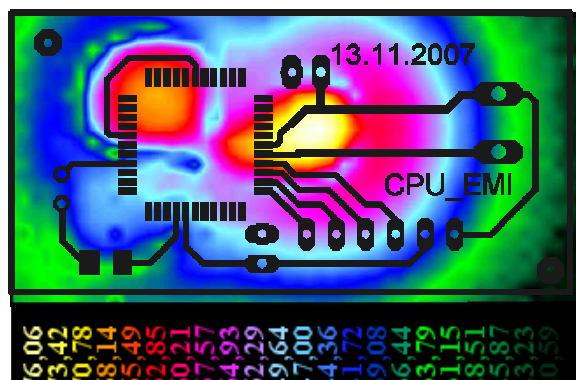


Obr. 8.10: Spektrum desky #1, bez stínící desky. Var1

V tomto měření byla stejná konfigurace jako u desky #1 i po softwarové stránce. Rozdíl ve frekvenčních špičkách je nepatrný, na 16 MHz je asi 1 dB. Což může být spíše chyba měření. Frekvenční rozložení je na následujících obrázcích.



Obr. 8.11 Rozložení frekvence 16MHz



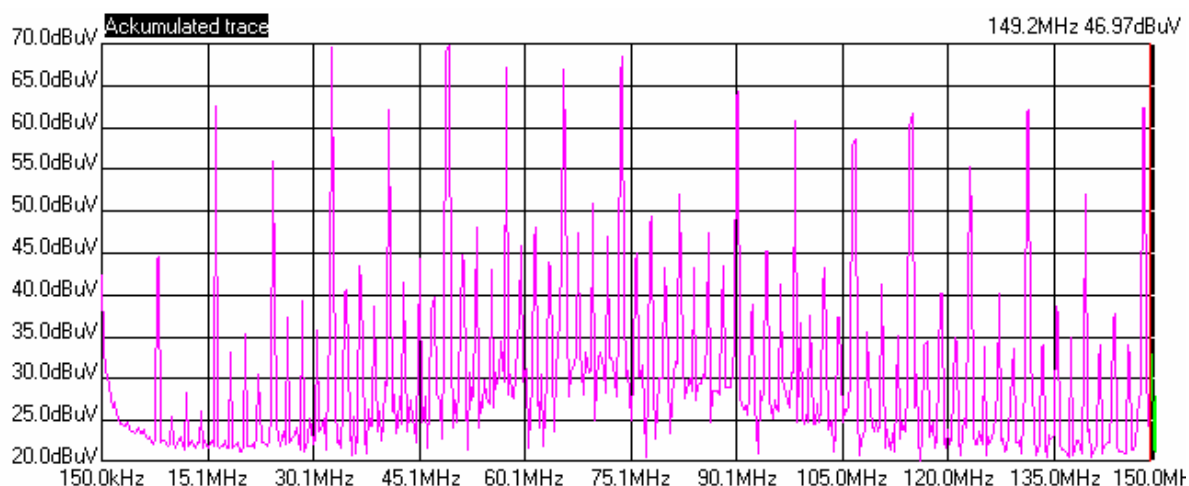
Obr. 8.12: Rozložení frekvence 32MHz

S rostoucí frekvencí se nejvíce soustředěné pole blokovacího kondenzátoru přesouvá na napájecí smyčku brány PA. Další obrázky rozložení pole (49 a 74 MHz) jsou umístěny v příloze pod Obr. 16.6 a Obr. 16.7. Při porovnávání desky se stínící deskou - #2 a bez stínící desky - #1 můžeme tedy konstatovat, že malé snížení emisivity bylo dosaženo odebráním měděné plochy pod mikroprocesorem. Připojení desky na napájecí napětí oproti GND nemělo vliv na vystupující rušivé pole z desky. Varianty tohoto měření jsou umístěny v příloze pod obrázky Obr. 16.10, Obr. 16.11, Obr. 16.12.

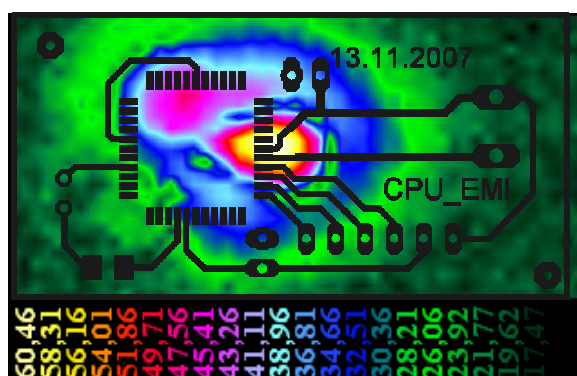
Následující měření se soustředí na minimalizaci rušení v závislosti na poloze blokovacího kapacitoru umístěného na napájecích pinech mikroprocesoru.

8.3 CPU_only varianta 3

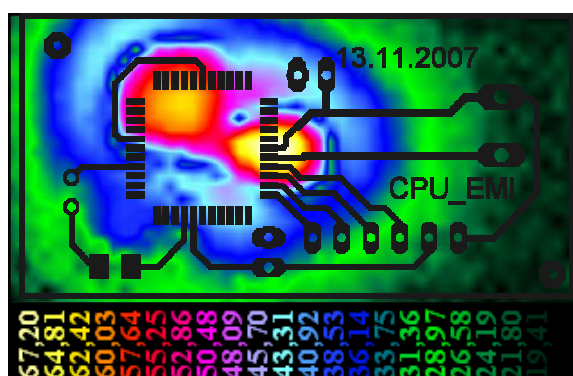
V tomto měření budeme porovnávat vliv umístění blokovacího kondenzátoru na vycházející rušivé elektromagnetické pole.



Obr. 8.13: Frekvenční spektrum #1. Kondenzátor hned u nožiček procesoru. Var4



Obr. 8.14: Rozložení 16MHz

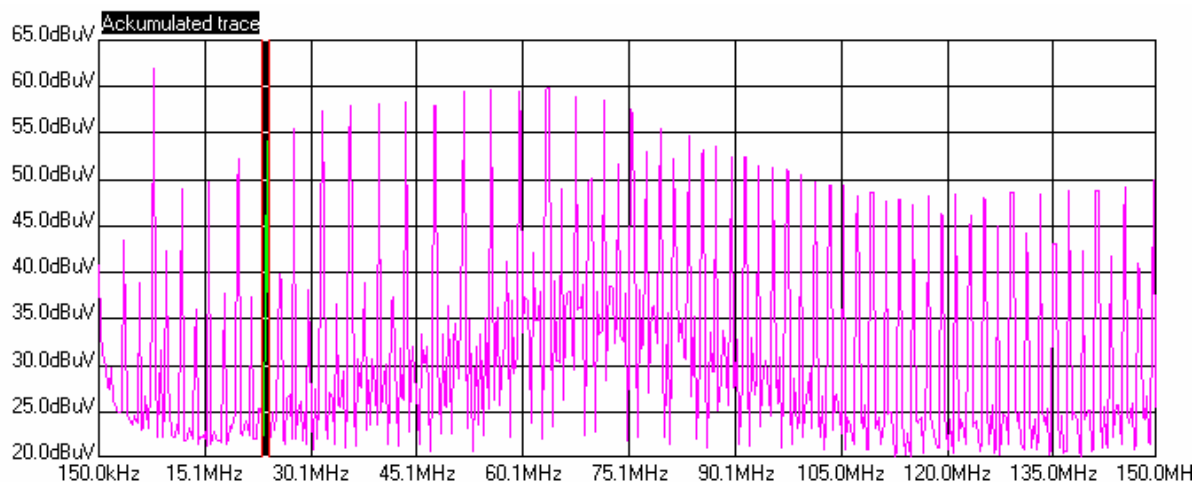


Obr. 8.15: 32MHz

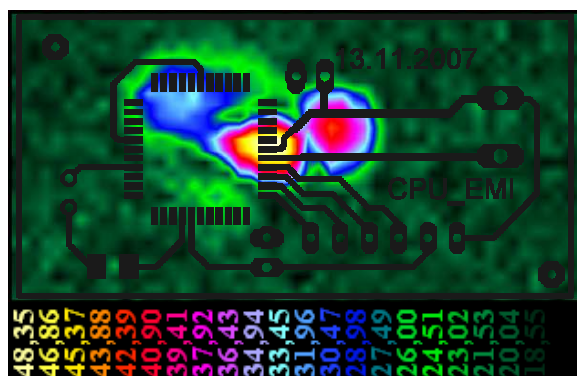
Při porovnání frekvenčních spekter u měření varianty 2 a 3 jsou již vidět znatelné rozdíly ve velikosti úrovně jednotlivých harmonických kmitočtů hlavně u kmitočtů do 40 MHz. Na základní frekvenci 8 MHz je rozdíl 7dB, na 16MHz 9dB, a na 32 MHz až 10 dB. Když porovnáme grafy frekvenčních rozložení. Tak je taky vidět zmenšení zářící smyčky posunutím blokovacího kondenzátoru blíže mikroprocesoru.

8.4 CPU_only varianta 4

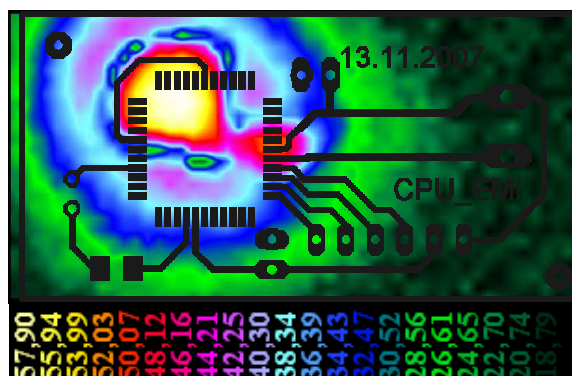
Dalším měřením které mělo vliv na vystupující spektrum elektromagnetického rušení bylo při nastavení kmitočtu vnitřního oscilátoru mikroprocesoru z 8MHz na 2MHz. Frekvenční spektrum tohoto měření je na následujícím obrázku.



Obr. 8.16: Frekvenční spektrum desky #1 s taktovací frekvencí 2MHz. Var2



Obr. 8.17: Rozložení frekvence 16MHz

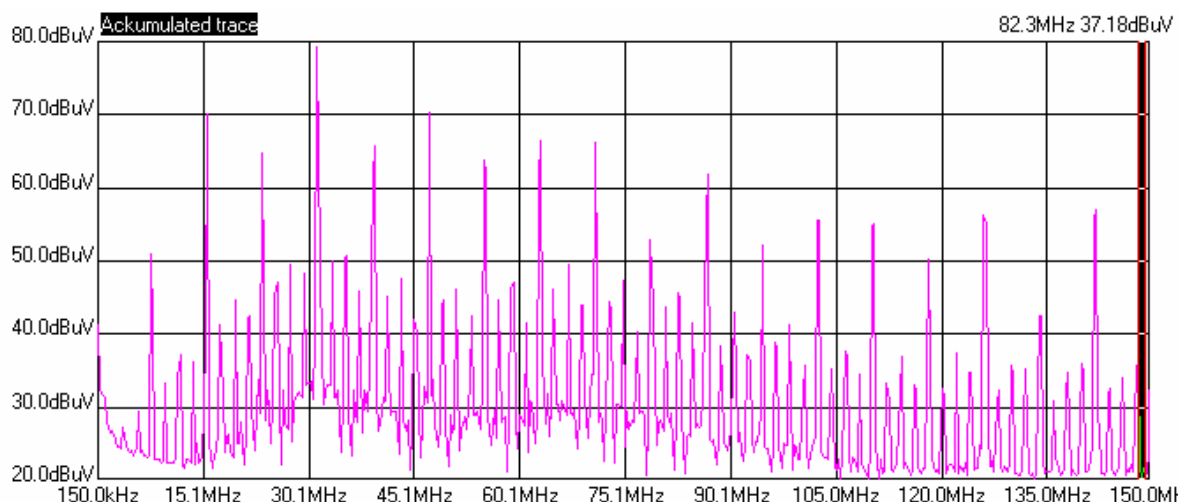


Obr. 8.18: 64MHz

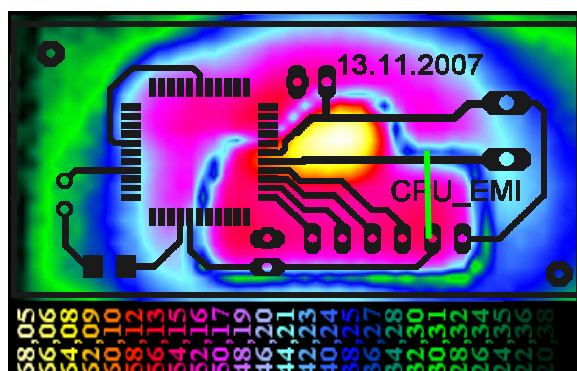
Co se týče porovnání frekvenčního spektra tohoto měření, vidíme, že se zečtyřnásobil počet harmonických ve frekvenčním spektru, což je z důvodu snížení frekvence vnitřního oscilátoru z osmi na dva megahertze. Nejvyšší úroveň vycházejícího pole je na 8 MHz což je asi o 15dB více jak v předchozím měření. Ostatní úrovně jsou nižší asi o 5 dB.

8.5 CPU_only varianta 5

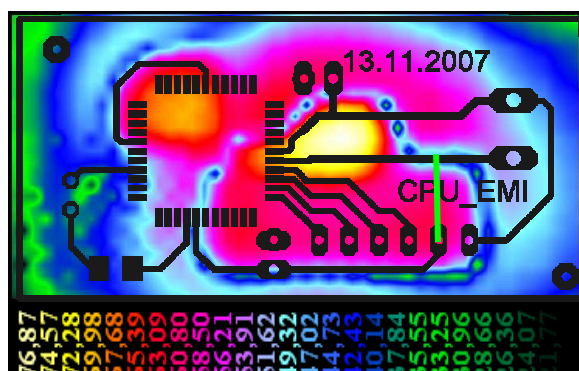
V tomto měření bude ukázáno jak má vliv na frekvenční spektrum a na rozložení frekvenčního pole uměle vytvořená smyčka na napájecím napětí.



Obr. 8.19: Frekvenční spektrum modulu CPU_only deska #3 se smyčkou na napájení Var5



Obr. 8.20: Rozložení frekvence 16MHz

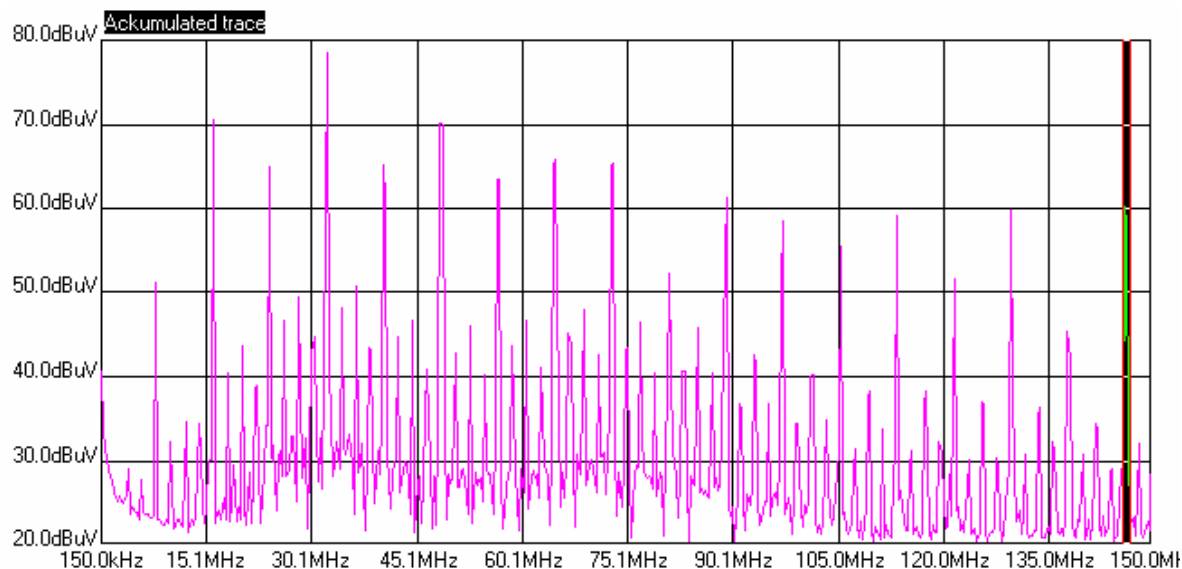


Obr. 8.21: 32MHz

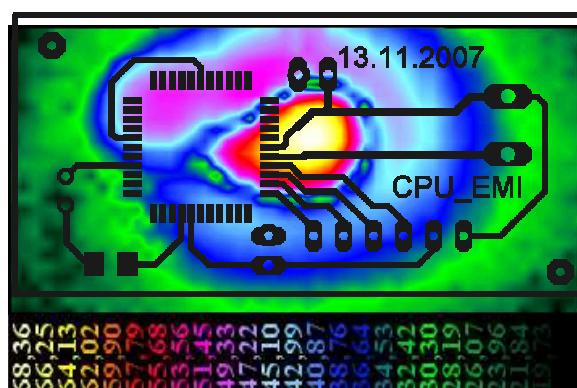
Smyčka byla vytvořena na napájecím vodiči +5V tak jak je naznačeno na Obr. 8.20 zelenou čarou vedenou z programovacího konektoru přímo na napájecí vodič. Tím se přímo propojily napájecí piny Vcc u brány PB a PD tzn. piny číslo 5 a 38 které jsou vzájemně mezi sebou propojeny na vnitřní vrstvě čipu procesoru. Při porovnání frekvenčního spektra došlo k výraznému navýšení nízkých frekvencí

8.6 CPU_only varianta 6

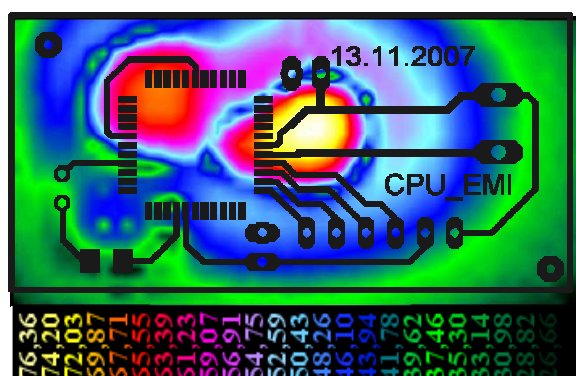
V tomto měření je stínící deska připojena silným vodičem na uzemnění, skrze které je aplikace napájena.



Obr. 8.22: Spektrum desky CPU_only #2 se silným uzemněním Var3



Obr. 8.23: Rozložení 16MHz

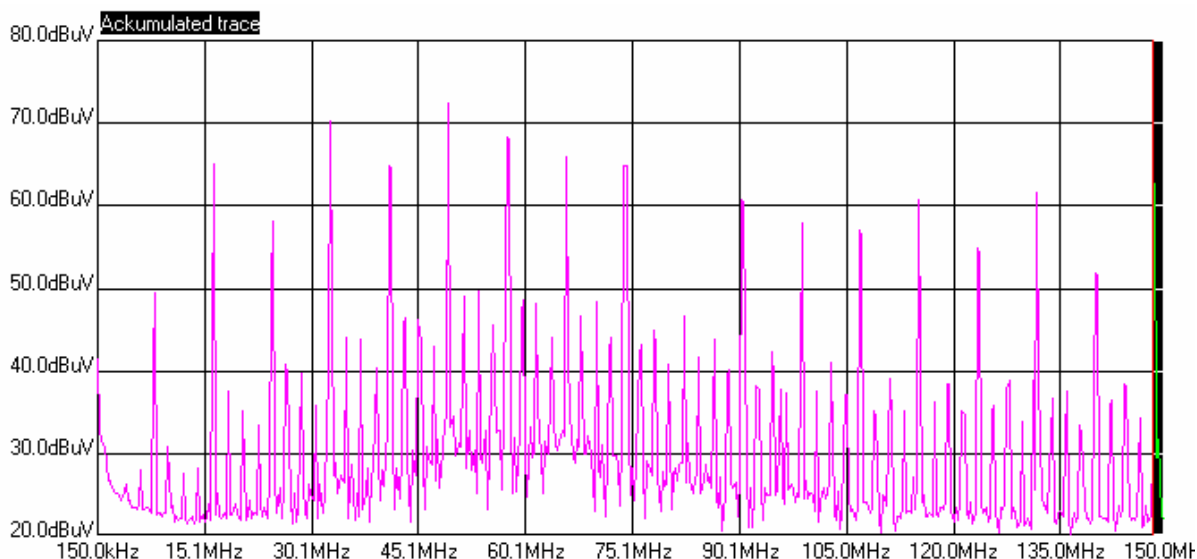


Obr. 8.24: Rozložení 32 MHz

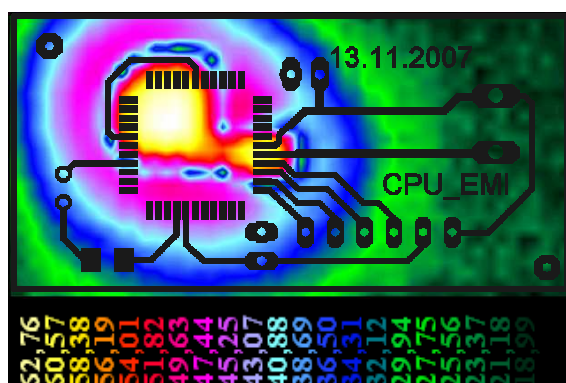
Tyto grafy rozložení poukazují na variantu měření, kde na stínící desku byl přiletován silný vodič a ten byl připojen přímo vodičem na externí uzemnění tak, že přes tuto stínící desku a vodič tekla napájecí proud testovaného modulu. Bylo to provedeno z důvodu ověření, že deska odráží rušivé pole jen proto, že její připojení na zemní kontakt není nijak proudově zatěžováno, takže nemusí splňovat stínící účinek. Z výsledků měření se potvrdilo, že vodivá deska pod mikroprocesorem emisivitu nijak nesnižuje.

8.7 CPU_only varianta 7

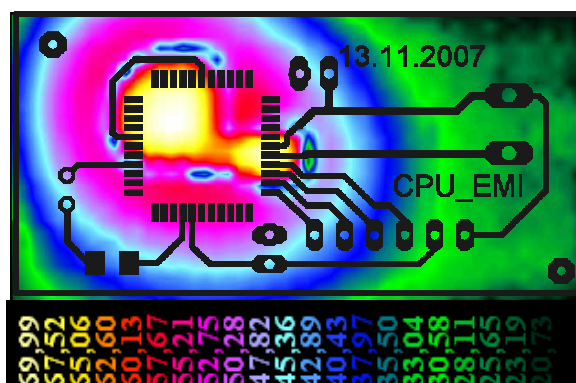
V tomto měření bude zkoumáno rušení vycházející z napájení analogové brány AVcc. Jeden byl těsně u napájecích pinů 17 a 18, a další těsně u napájecího pinu AVCC a GND.



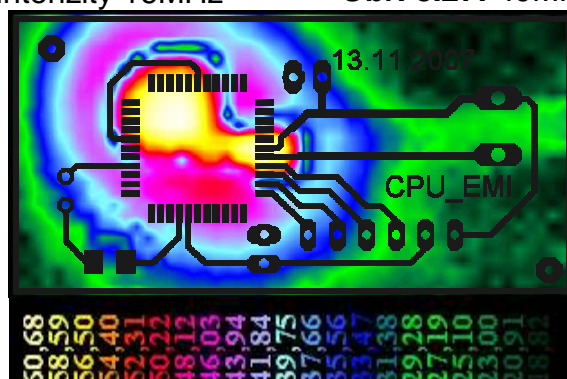
Obr. 8.25: CPU only desky #1, připojen kondenzátor u napájecím vedení. Var8



Obr. 8.26: Rozložení intenzity 16MHz



Obr. 8.27: 49MHz

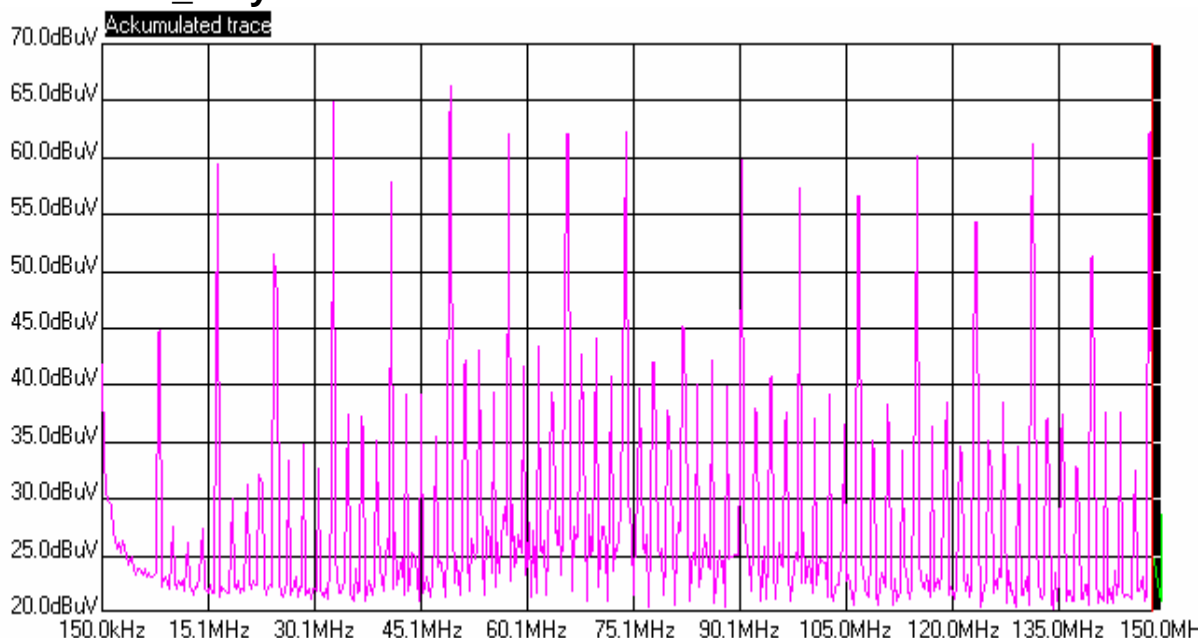


Obr. 8.28: 148MHz

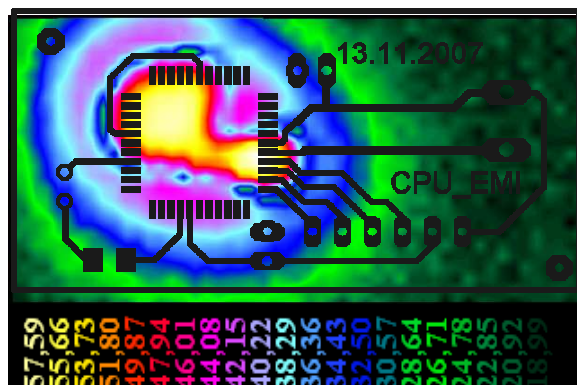
Rozložení pole je na jednotlivých frekvencích podobné s rozdílem velikosti zářící smyčky, která se zmenšuje do kmitočtu 107 MHz jak ukazují grafy Obr. 8.26 až Obr. 8.28 a po této frekvenci se velikost rušivé smyčky pomalu v průměru zvětšuje. Toto minimum je vidět i ve frekvenčním spektru na Obr. 8.25, kde jednotlivé úrovně

harmonických poklesnou na 105 MHz. Přidání kondenzátoru k napájecím pinům AVcc nemělo žádný velký vliv na minimalizaci vyzařovací smyčky způsobené napájecím vodičem vedeným z pinu 17 (Vcc) na pin 27 (AVcc). Rušené pravděpodobně tedy vychází ven z jádra přes pin 17 (Vcc). V dalším bodě měření se bude zkoušet vliv přidání dalšího blokovacího kondenzátoru.

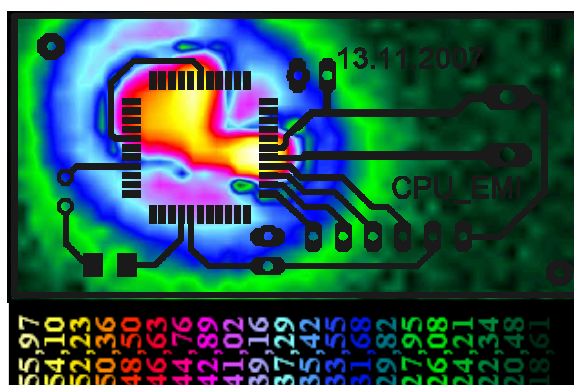
8.8 CPU_only varianta 8



Obr. 8.29: CPU only deska #1 tři blokovací kondenzátory. Var9



Obr. 8.30: Rozložení frekvence 16 MHz

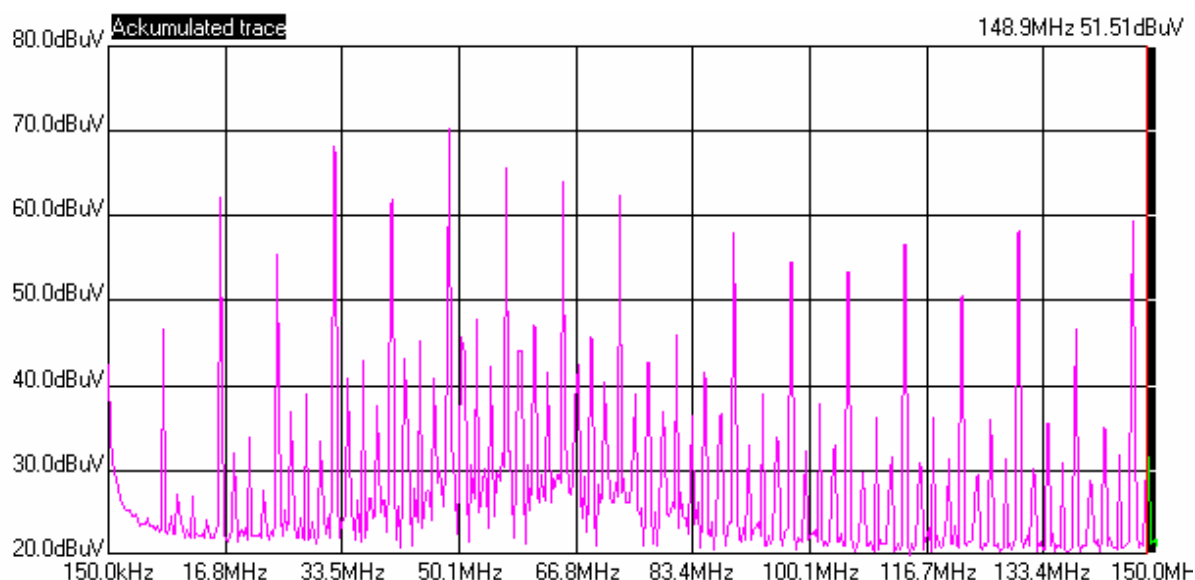


Obr. 8.31: Rozložení frekvence 41 MHz

V těchto výsledcích měření je ve frekvenčním spektru vidět zlepšení oproti Variantě 7 o 5dB na kmitočtech 8; 16; 32; 41; 49 MHz. Takže přidání tohoto kondenzátoru na napájecí piny Vcc a GND tj. mezi piny č 17 a 18. Mělo opět příznivý vliv na vycházející rušivé pole mikroprocesoru. Při pohledu na rozložení intenzity pole frekvence 41 megahertz se zobrazila rušivá smyčka uzavírající se přes tento blokovací kondenzátor.

8.9 CPU_only varianta 9

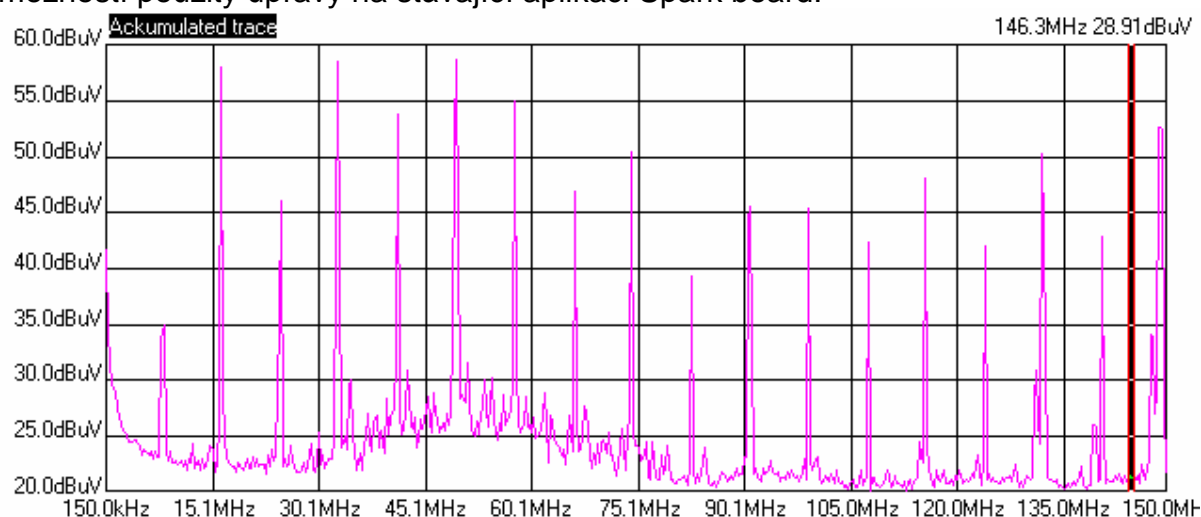
V této variantě měření budou použity taktěž tři blokovací kapacitory na napájecích pinech procesoru, a změna bude také v použité desce plošného spoje, která má stínění z obou stran desky tak, že je přímo pod mikroprocesorem i na druhé vrstvě DPS.



Obr. 8.32: Frekvenční spektrum CPU only desky #4 se 2 blokovacími kondenzátory. Var3

9 Úprava aplikace Spark board

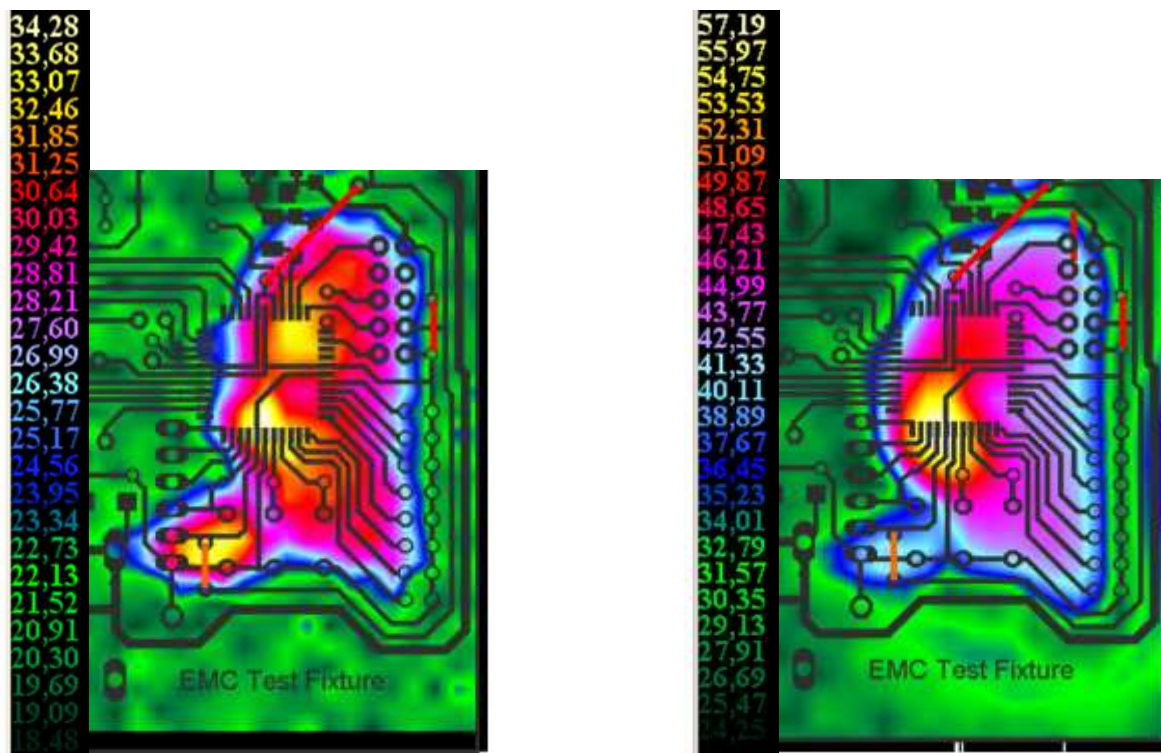
Na základě poznatků získaných z měření desek CPU_only byly částečně dle možností použity úpravy na stávající aplikaci Spark board.



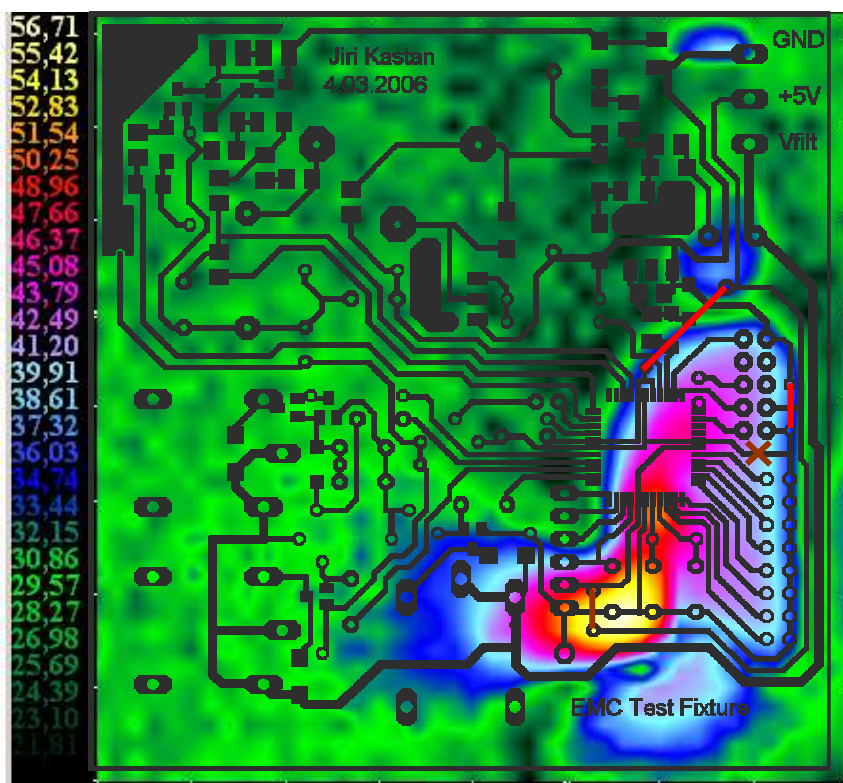
Obr. 9.1: Frekvenční spektrum Spark board s rozpojenou smyčkou na napájení a po přidání kondenzátoru k napájecí bráně. Vnitřní RC oscilátor. Var12

Snažili jsme se rozpojit smyčku napájecího napětí, která byla tvořena vnitřním propojení napájecích pinů na vnitřní vrstvě mikročipu a následně ještě přidáním blokovacího kondenzátoru na napájecí piny mikroprocesoru číslo 5 a 6. Z

frekvenčního spektra uvedeném na Obr. 9.1 je oproti variantám měření v kapitole 8. na Obr. 7.4 vidět zlepšení intenzity vyzařovaného spektra na nižší úroveň až o 22dB na 8MHz ; 11dB na 16 MHz; 13dB na 32MHz , ale naopak ve vyšších frekvencích harmonických se jejich úroveň zvětšila. Rozložení frekvencí je na následujících obrázcích.

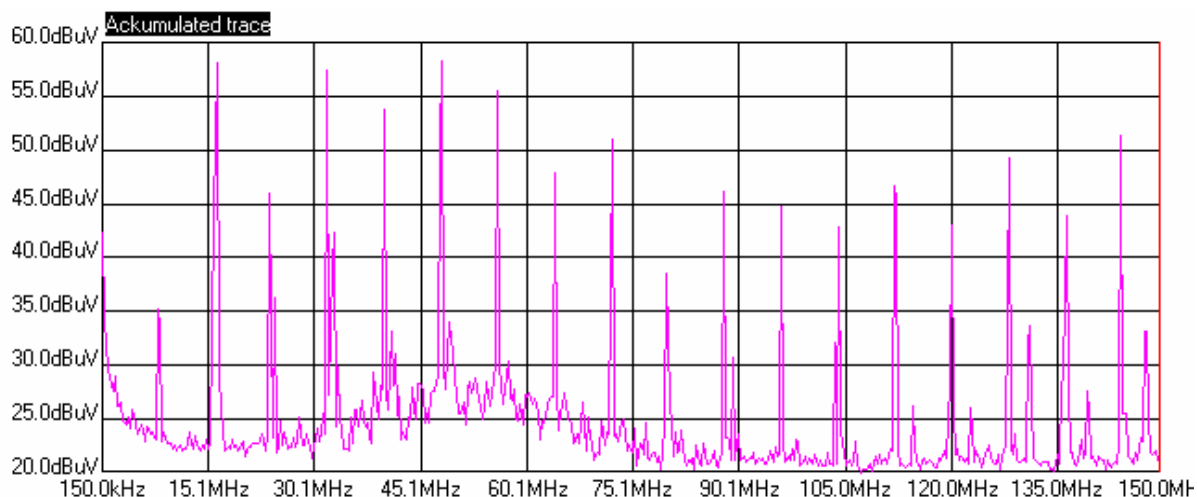


Obr. 9.2: Výřez frekvenčního rozložení 8MHz vlevo a 32MHz vpravo

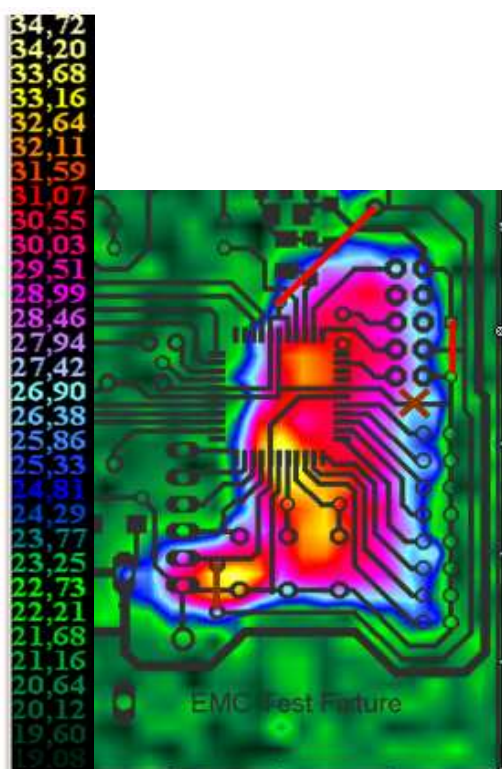


Obr. 9.3: Rozložení frekvence 16 MHz

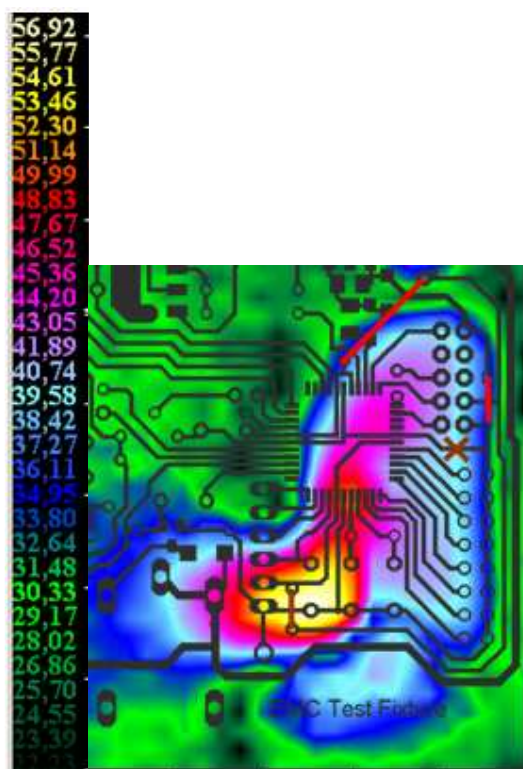
Ve spojovém propojení na desce plošného spoje byla odebrána drátová propojka vyznačená hnědou barvou vpravo dole v obrázku Obr. 9.3 a přerušen spoj označen křížkem taktéž hnědou barvou. Vycházející rušivé pole se výrazně zmenšilo. Tím, že se podařilo minimalizovat rušivé pole vycházející kolem mikroprocesoru, můžeme se zaměřit na zkoumání detailnějších zdrojů rušení, například rozdíl mezi externím krystalovým rezonátorem a vnitřním RC oscilátorem mikroprocesoru.



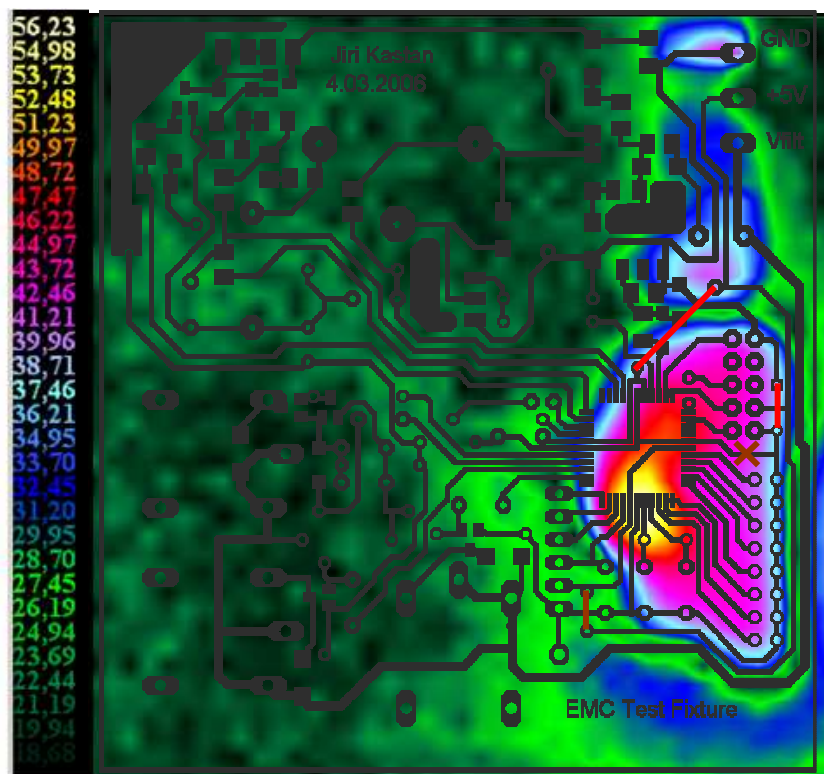
Obr. 9.4: Frekvenční spektrum s krystalovým rezonátorem 8MHz. Var13



Obr. 9.5: Rozložení frekvence 8MHz



Obr. 9.6: Rozložení frekvence 16MHz



Obr. 9.7 Rozložení frekvence 32MHz

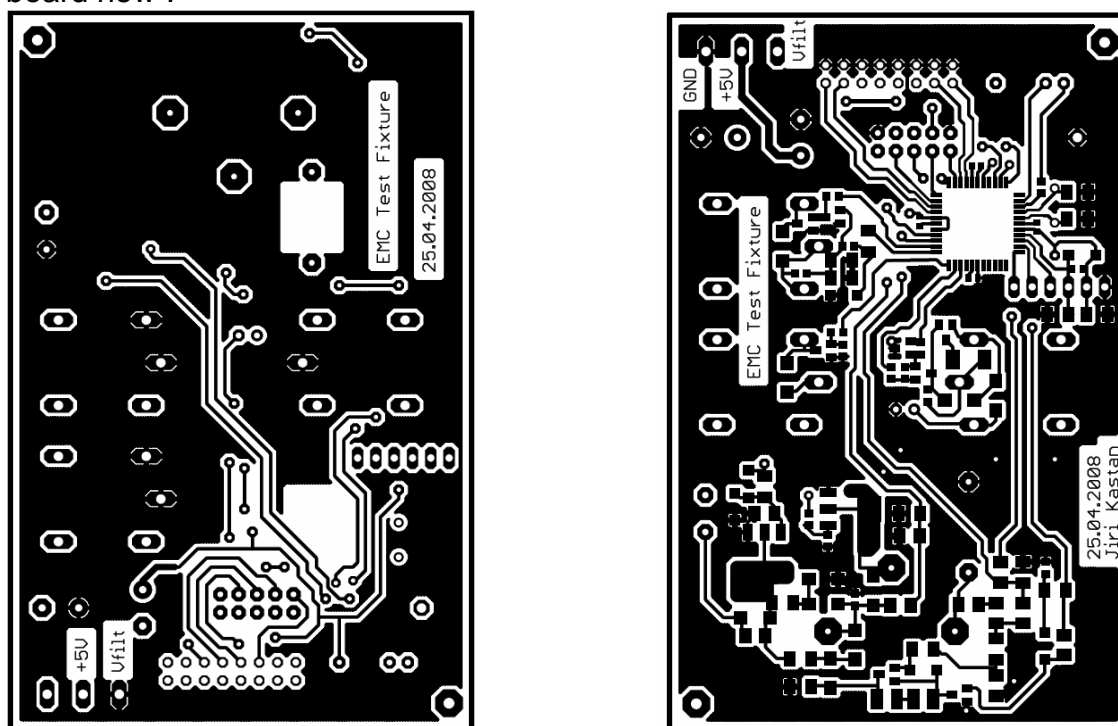
10 Získaná návrhová pravidla pro DPS

Tato kapitola popisuje návrhová pravidla desek plošných spojů z pohledu elektromagnetické kompatibility která vyplynula z jednotlivých měření na skeneru blízkého pole. Tato pravidla jsou podkladem dalšího návrhu desky plošného spoje pro minimalizaci rušení vycházející z aplikace.

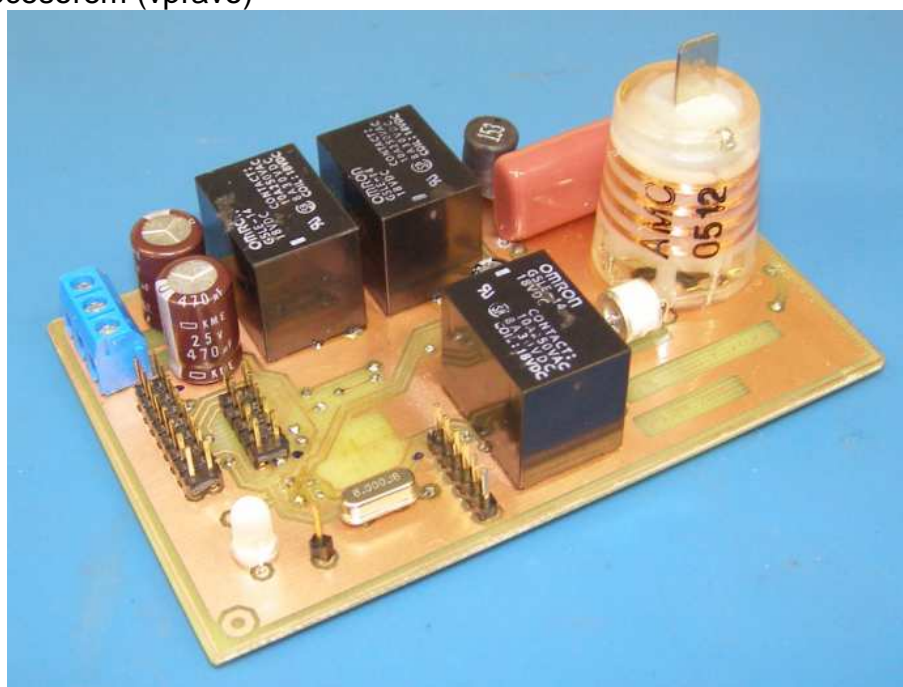
1. Při návrhu napájecího napětí klademe důraz na to, aby se neutvořily smyčky (rozdvojení vodiče a opětovné uzavření) na plusovém a minusovém napájecím vodiči. Může se stát u mikroprocesorů s více napájecími vstupy, které jsou vnitřně propojeny.
2. Vkládáme blokovací kondenzátory na každou napájecí dvojici vstupů mikroprocesoru co nejtěsněji k vývodům. Velikost použitého pouzdra blokovacího kondenzátoru nemá na blokovací účinek vliv.
3. Pokud je deska plošného spoje vyrobena jako oboustranná, je vhodné každou stranu vybavit polygonem a každý z těchto polygonů připojit na rozdílný potenciál.
4. Stínící plochu umístěnou přímo pod mikroprocesorem je vhodnější vůbec neosazovat, protože nezpůsobuje redukci intenzity rušení ve frekvenčním spektru, ale naopak jej nepatrně zvyšuje.
5. Při použití externího krystalového oscilátoru se nezhoršuje spektrum nežádoucího rušení od mikroprocesoru, ale je vhodné odstínit připojovací vodiče k oscilátoru.
6. Na rušení, vycházející z mikroprocesoru, nemají vliv vnitřní periferie na čipu. Nezapojené vstupně/výstupní brány je vhodné v softwaru uzemnit na hodnotu LOG0.

11 Návrh nové verze aplikace Spark board NEW

V této kapitole bude vytvořen nový návrh desky plošného spoje aplikace, která je totožná s Modulem Spark board vytvořeným v kapitole 5 Návrh aplikace „Spark board“ pro experimentální měření EMC. Budou zde použity návrhová pravidla zjištěná v této práci. Návrh spoje je vytvořen podle schématu uvedeného v příloze na Obr. 16.4. Schéma je totožné s předchozí verzí této aplikace s rozdílem jiného zapojení periférií na piny procesoru. Tato aplikace bude dále označována „Spark board new“.

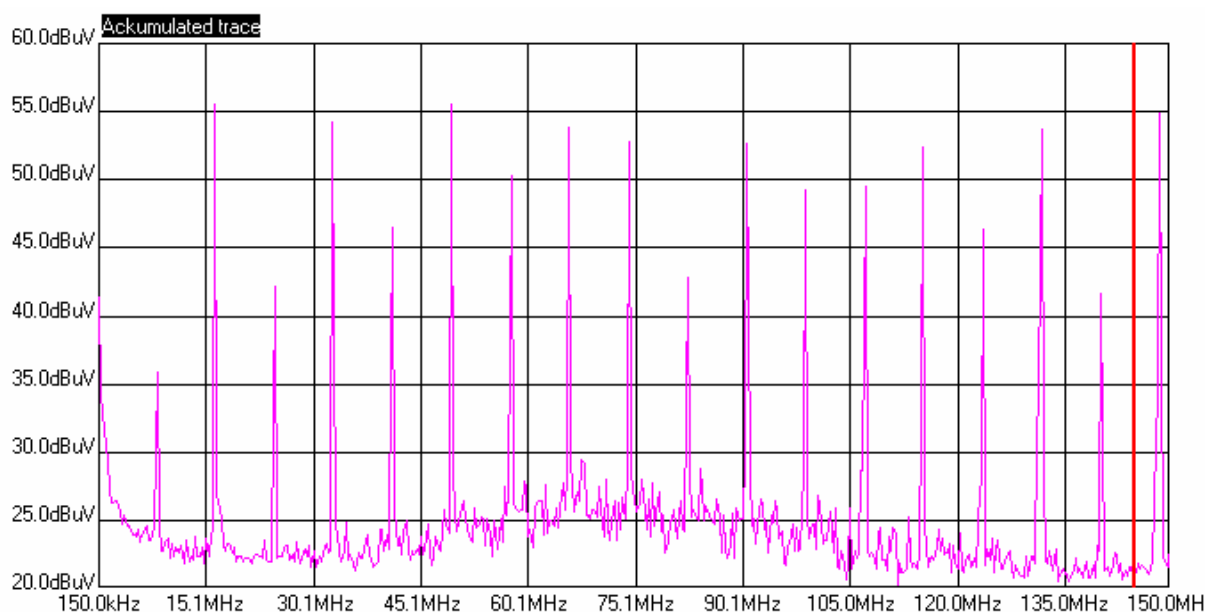


Obr. 11.1: Návrh desky plošného spoje vrstvy TOP (vlevo) vrstva Bottom s mikroprocesorem (vpravo)

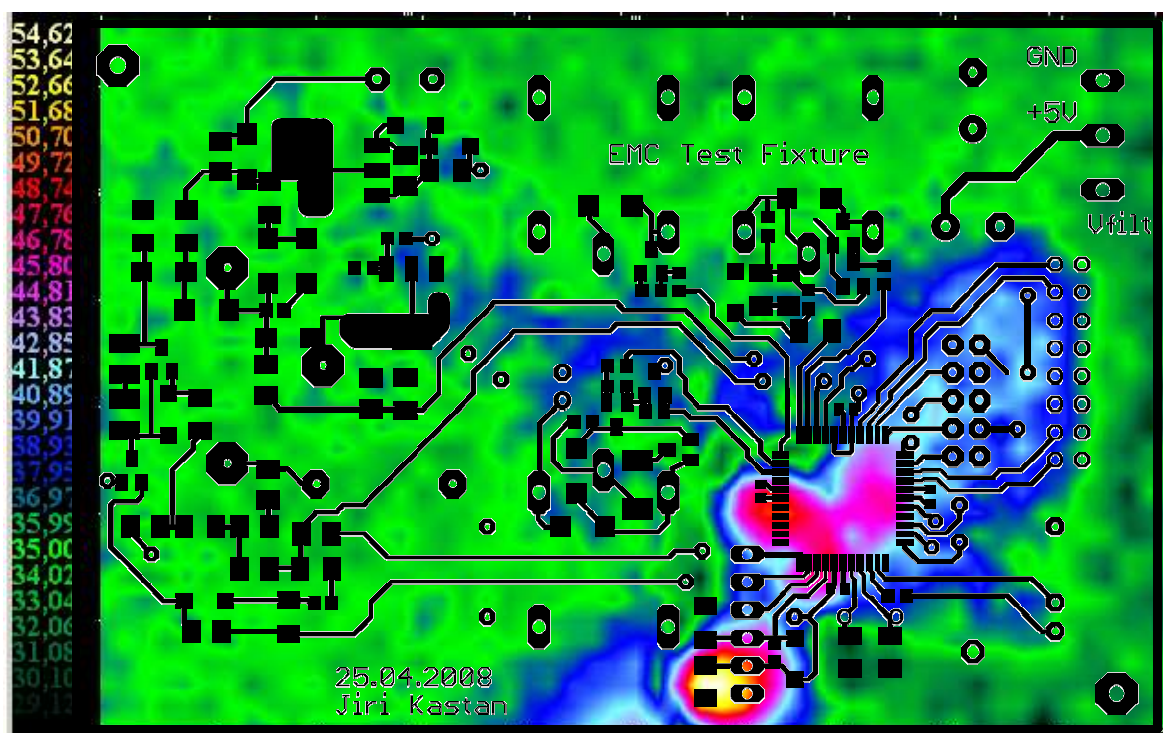


Obr. 11.2: Vyrobená a osazená deska Spark board new

11.1 Měření desky nového návrhu, Varianta 1

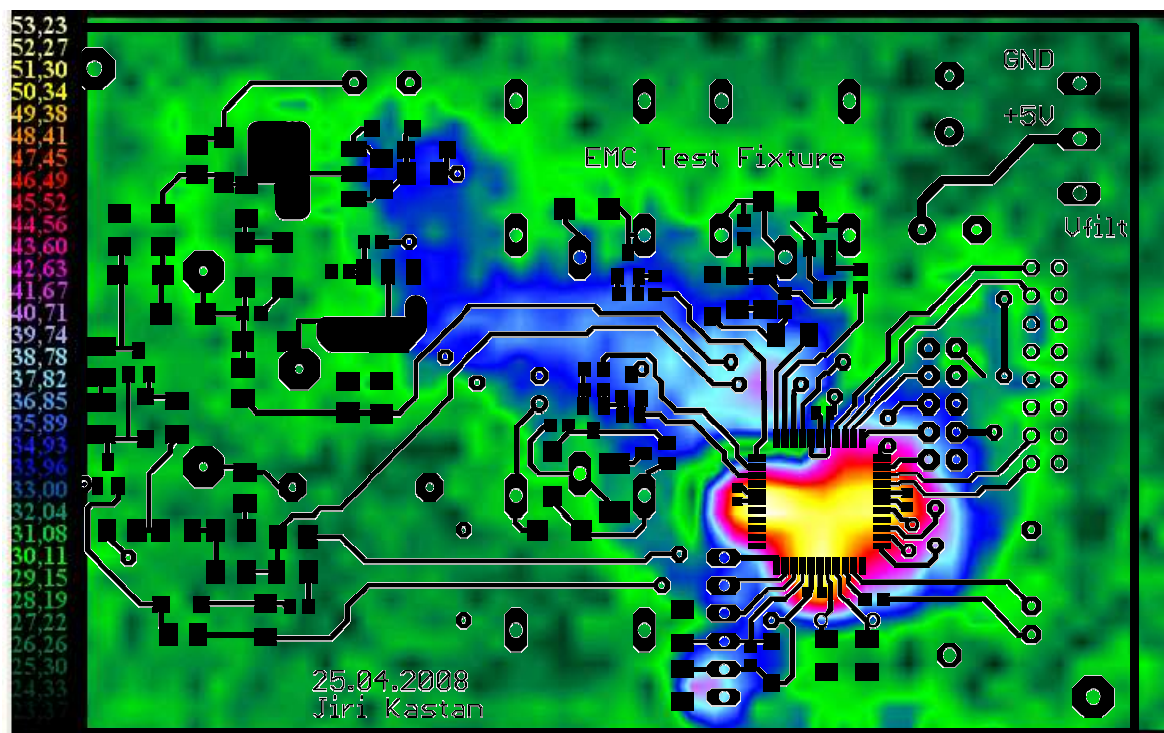


Obr. 11.3: Frekvenční spektrum nového návrhu aplikace Spark bord new. Var1



Obr. 11.4: Rozložení frekvence 16MHz

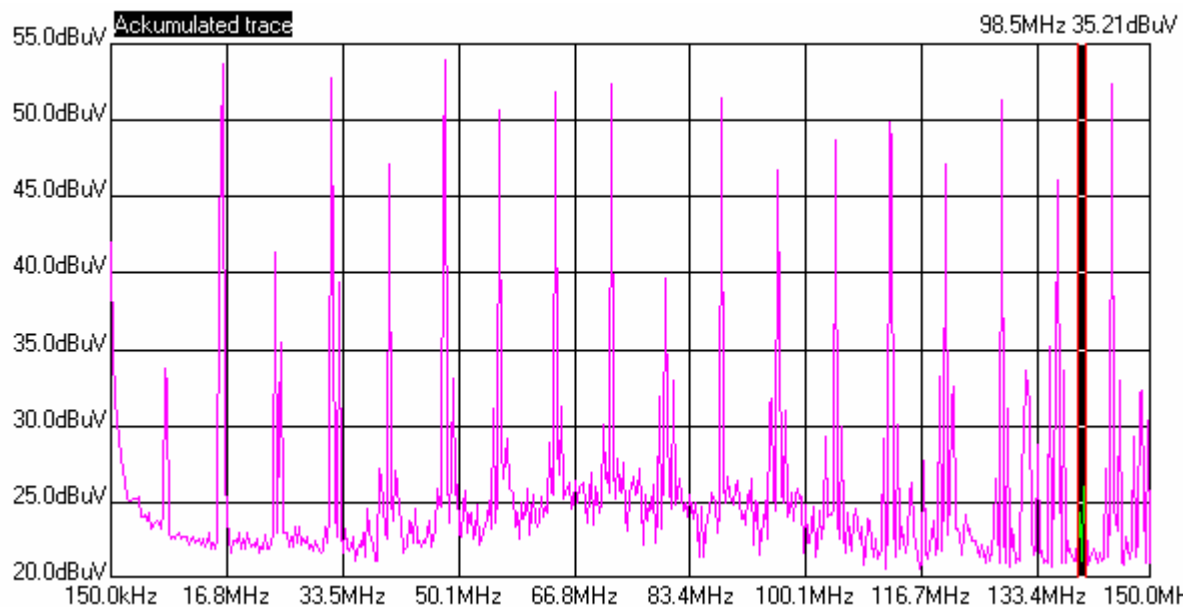
Na grafu rozložení frekvence 16 MHz vidíme , že vycházející rušení se nám podařilo minimalizovat na každém napájení po blokovací kapacitě. Nikde se neobjevuje žádná smyčka, která by extrémně zářila.



Obr. 11.5 Rozložení frekvence 32MHz

V dalším měření bude porovnáván rozdíl v použití externího krystalového rezonátoru oproti vnitřnímu RC oscilátoru.

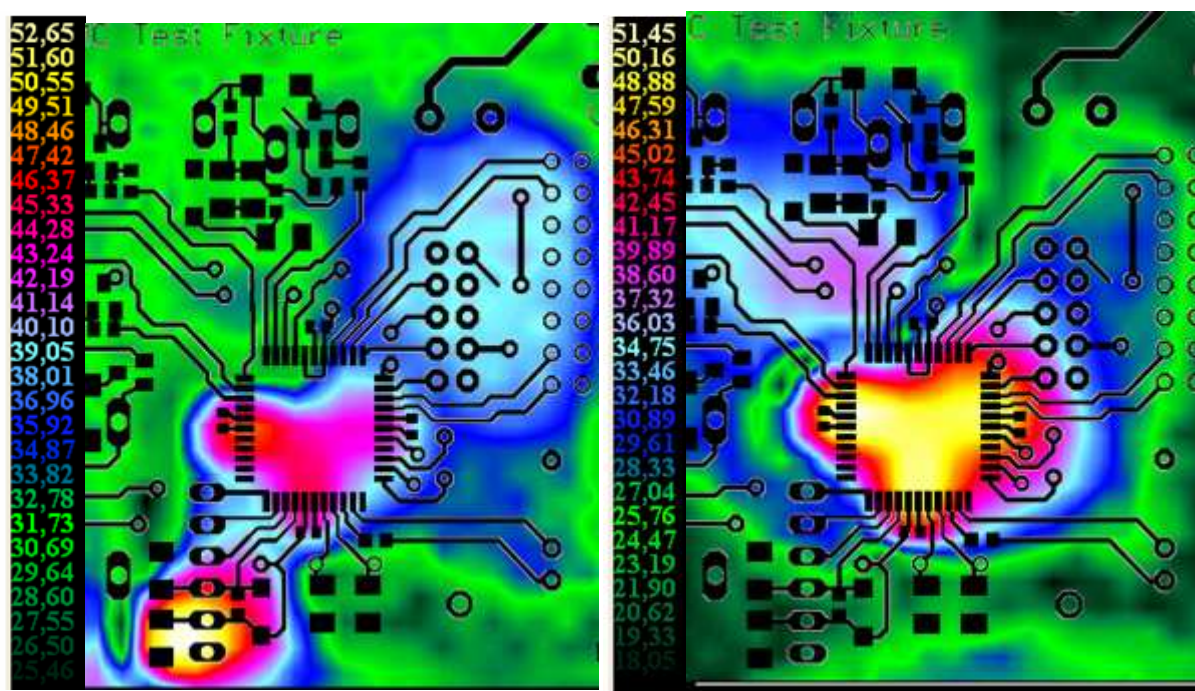
11.2 Varianta 2



Obr. 11.6: Frekvenční spektrum nové desky s externím krystalem. Var3

V porovnání grafů měření s použitím externího krystalu a předchozího měření tj. s vnitřním oscilátorem, je vidět nižší úroveň všech harmonických. To je způsobeno připojením druhé vrstvy TOP na napájení 24V ze zdroje stejnosměrného napětí. To, že byl použit externí krystalový rezonátor ve spektru nijak vidět není, takže toto

zanedbatelné záření, které bylo vidět na grafech na Obr. 9.6 a Obr. 9.3 pohltila stínící deska.



Obr. 11.7: Rozložení frekvencí s použitím krystalového rezonátoru 16 MHz vlevo a 32 MHz vpravo

12 Závěr

Tato diplomová práce pojednává o členění elektromagnetické kompatibility a o základních návrhových pravidlech návrhu desek plošných spojů pro mikroprocesorové systémy. Pro prozkoumání a redukci elektromagnetického rušení byla sestavena aplikace, která obsahuje základní části z prototypu řídicí jednotky plynového kotle od firmy Honeywell. První návrh desky plošného spoje byl vytvořen bez použití návrhových pravidel pro elektromagnetickou kompatibilitu, a proto tato aplikace produkovala značně elektromagnetické pole. Bohužel nebylo možné proměřit vznikající pole při činnosti vysokonapěťového transformátoru (tzv. při sparkování), protože by tyto velké výboje zničily vysokofrekvenční předzesilovač signálu z detekční sondy blízkého pole.

Pro odstranění nežádoucího rušení naměřené v první verzi aplikace byly navrženy přípravy (desky plošného spoje se samostatným mikroprocesorem), na kterých bylo zkoumáno rušení vycházející ze samotného mikroprocesoru a pokusně odstraňováno především přidáváním blokovacích kondenzátorů na napájecí vstupy. Také byl na těchto přípravcích zkoumán vliv umístění stínící desky (jako plošný spoj) pod mikroprocesor.

Bylo zjištěno, že velký vliv na vycházející rušení od mikroprocesoru má vytvoření zemních a napájecích smyček, které se může autor návrhu lehce dopustit a to z toho důvodu, že mikroprocesory, které mají více napájecích pinů, mají vnitřně na vrstvě čipu tyto vstupy propojeny. Tudíž pokud se následně propojí i na desce plošného

spoje, vzniknou uzavřené smyčky, které zvětšují rušivé pole vycházející do prostoru. Při zkoumání vlivu stínící desky nebylo nalezeno žádné zlepšení, spíše by se dalo konstatovat, že stínící deska elektromagnetické pole odráží.

Při měření změn na softwarové úrovni byl vypínán AD převodník, změny vnitřního oscilátoru oproti externímu krystalovému rezonátoru, a vlivy logických stavů na nezapojených portech procesoru. Při těchto měřeních byly nalezeny rozdíly pouze při vložení externího rezonátoru, přičemž tato změna nezpůsobila ve frekvenčním spektru zvýšení vyzařování, ale bylo pouze viditelné na grafu frekvenčního rozložení, kde se ukázaly jemně svítící plošky tam, kde byl připojen krystal. Při porovnání naměřených frekvenčních spekter na upravené desce Spark board s použitím krystalu a vnitřního oscilátoru byly na jednotlivých harmonických vidět nepřesnosti tohoto vnitřního oscilátoru. Tam, kde byl použit krystal, byly harmonické frekvence přesným násobkem 8MHz. Z těchto grafů také vyplývá, že záření způsobuje hlavně jádro mikroprocesoru do svých napájecích vstupů. Pokud byly různě zapínány použité vnitřní periferie v mikroprocesoru, nebyly zjištěny žádné změny ve frekvenčních spektrech.

Velkým nedostatkem programu Detectus použitého pro měření a zobrazování frekvenčního spektra bylo, že jím není možné porovnávat vzájemně více naměřených charakteristik, což by umožnilo důkladnější porovnávání jednotlivých měření vůči sobě.

Výsledkem této práce jsou dodatková pravidla elektronického návrhu, která mohou sloužit jako kroky k redukci elektromagnetického rušení při vývoji aplikací.

13 Literatura

- [1] Polina Vaculíková, Emil Vaculík a kolektiv : **Elektromagnetická kompatibilita elektronických systémů**, Praktická příručka techniky omezení elektromagnetického vř rušení, Grada Publishing, spol. S.r.o. Praha 7. 1997
- [2] SVAČINA, J.: **Elektromagnetická kompatibilita** – principy a metody. Brno: Vysoké učení technické, 2001.
- [3] Elektromagnetická kompatibilita výkonových systémů <http://k313.feld.cvut.cz/emc/>
- [4] Podklady návrhu PVWH. V projektu jsou použity technická řešení firmy Honeywell, jež jsou patentově chráněny
- [5] ZÁHLAVA, V.: **Metodika návrhu plošných spojů**. Praha: ČVUT, 2002.
- [6] EMC Informační systém <http://www.emc-info.cz>
- [7] Elektrorevue <http://www.elektrorevue.cz>

14 Seznamy zkratek

EMC	-	E lectromagnetic C ompatibility
LCD	-	L iquid C rystal D isplay
EMI	-	E lectromagnetic I nterference
EMS	-	E lectromagnetic S usceptibility
ESD	-	E lectro S tatic D ischarge
SPI	-	S erial P eripheral I nterface
CPU	-	C ontrol P rocessing U nit
FET	-	F ield E ffect transistor
DCDC	-	D irect C urrent – značka stejnosměrného proudu
Vcc	-	V oltage common c athode
GND	-	G round
AVcc	-	A nalog voltage common c athode
JTAG	-	J oint T est A ction G roup,
CISPR	-	C omité I nternational S pécial des P erturbations Radioélectrique (Mezinárodní komise pro rádiové rušení)
CENELEC	-	C omité E uropéen de N ormalisation É lectrotechnique (Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice)
IEC	-	I nternational E lectrotechnical C ommission (Mezinárodní organizace pro normalizaci v elektrotechnice)
ISO	-	I nternational O rganization for S tandardization (Mezinárodní organizace pro normalizace)
ETSI	-	E uropean T elecommunications S tandards I nstitute (Evropský institut pro normy v telekomunikacích)
EN	-	E urope N ormalization (Evropská norma)
ČSN	-	Č eské n ormy
ČNI	-	Č eský N ormalizační I nstitut
VTÚPV	-	V ojenský T echnický Ú stav P ozemního V ojška

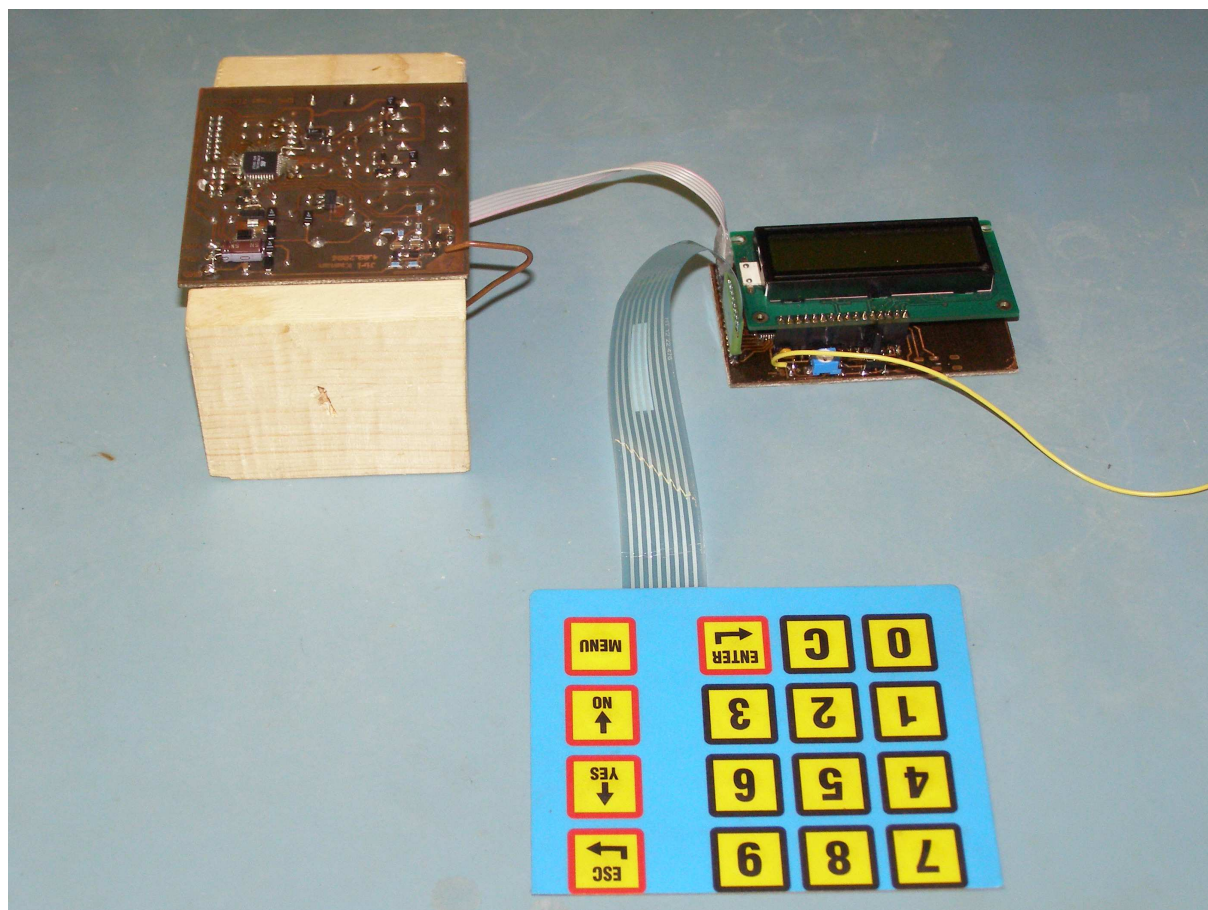
15 Seznam obrázků a příloh

Obr. 2.1: Základní členění oboru EMC.....	3
Obr. 2.2: Obecné schéma působení tří základních prvků [1]	4
Obr. 2.3: Grafické znázornění souvztažností jednotlivých úrovní a mezí EMC. [2]	6
Obr. 2.4: Druhy elektromagnetického rušení.....	7
Obr. 2.5: Galvanická vazba	8
Obr. 2.6: Příklad indukční vazby	8
Obr. 2.7: Parazitní kapacitní vazba galvanicky oddělených obvodů. [2]	9
Obr. 2.8: Vazba antény (2) se zdrojem rušivého elektromagnetického pole (1)	9
Obr. 4.1: Možnosti minimalizace plochy smyčky blokovacím kondenzátorem	12
Obr. 4.2: Typické chyby při umístění oscilátoru u mikrokontroléru a její odstranění.....	13
Obr. 4.3: Typické chyby při návrhu sběrnice na DPS a jejich odstranění	14
Obr. 5.1: Blokové schéma elektronického zapalování plamene plynového kotle	16
Obr. 5.2: a) Hořák pilotního plamene a detekční kontakt, b) náhradní elektrické schéma hořícího plamene	17
Obr. 5.3: Schéma obvodu detekce plamene.	18
Obr. 5.4: Časování periferií při generování jiskry „spark“	19
Obr. 5.5: DPS testovacího přípravku Spark board pro měření EMI	20
Obr. 6.1: Modelace vycházejícího pole a jeho měření sondou RF B 0,3-3 pro blízké pole.	21
Obr. 6.2: Nastavené parametry při měření v programu Detectus	22
Obr. 7.1: Frekvenční spektrum desky Spark board se spuštěným měničem DCDC. Var2	23

Obr. 7.2: Rozložení pole na frekvenci 16 MHz.....	24
Obr. 7.3: Rozmístění pinů u pouzdra TQFP mikročipu ATmega16L	25
Obr. 7.4: Frekvenční spektrum desky Spark board s vypnutými periferiemi. <i>Var1</i>	25
Obr. 7.5: Rozložení pole na frekvenci 16 MHz s vypnutými periferiemi.....	26
Obr. 7.6: Frekvenční spektrum, v CPU nastaveny nepoužité porty na LOG0 a vyvedená sběrnice je navíc pro-zkratována na GND pomocí jumperů. <i>Var6</i>	27
Obr. 7.7: rozložení 16 MHz u <i>var6</i>	27
Obr. 8.1: Schéma mikroprocesorové aplikace a DPS.....	28
Obr. 8.2: Deska plošného spoje „CPU_only“ #3	29
Obr. 8.3: Osazení plošného spoje.....	29
Obr. 8.4: Poloha a rozmístění pinů pouzdra TQFPO v CPU_board	29
Obr. 8.5: Graf frekvenčního spektra desky #2. Stínící deska na GND. <i>Var1</i>	30
Obr. 8.6: Rozložení pole 16 MHz	30
Obr. 8.7: Rozložení pole 32 MHz	30
Obr. 8.8: 64MHz	30
Obr. 8.9: 113MHz	30
Obr. 8.10: Spektrum desky #1, bez stínící desky. <i>Var1</i>	31
Obr. 8.11 Rozložení frekvence 16MHz	31
Obr. 8.12: Rozložení frekvence 32MHz	31
Obr. 8.13: Frekvenční spektrum #1. Kondenzátor hned u nožiček procesoru. <i>Var4</i>	32
Obr. 8.14: Rozložení 16MHz	32
Obr. 8.15: 32MHz	32
Obr. 8.16: Frekvenční spektrum desky #1 s taktovací frekvencí 2MHz. <i>Var2</i>	33
Obr. 8.17: Rozložení frekvence 16MHz	33
Obr. 8.18: 64MHz	33
Obr. 8.19: Frekvenční spektrum modulu CPU_only deska #3 se smyčkou na napájení <i>Var5</i>	34
Obr. 8.20: Rozložení frekvence 16MHz	34
Obr. 8.21: 32MHz	34
Obr. 8.22: Spektrum desky CPU_only #2 se silným uzemněním <i>Var3</i>	35
Obr. 8.23: Rozložení 16MHz	35
Obr. 8.24: Rozložení 32 MHz	35
Obr. 8.25: CPU only desky #1, připojen kondenzátor u napájecím vedení. <i>Var8</i>	36
Obr. 8.26: Rozložení intenzity 16MHz	36
Obr. 8.27: 49MHz	36
Obr. 8.28: 148MHz	36
Obr. 8.29: CPU only deska #1 tři blokovací kondenzátory. <i>Var9</i>	37
Obr. 8.30: Rozložení frekvence 16 MHz	37
Obr. 8.31: Rozložení frekvence 41MHz	37
Obr. 8.32: Frekvenční spektrum CPU only desky #4 se 2 blokovacími kondenzátory. <i>Var3</i>	38
Obr. 9.1: Frekvenční spektrum Spark board s rozpojenou smyčkou na napájení a po přidání kondenzátoru k napájecí bráně. Vnitřní RC oscilátor. <i>Var12</i>	38
Obr. 9.2: Výřez frekvenčního rozložení 8MHz vlevo a 32MHz vpravo.....	39
Obr. 9.3: Rozložení frekvence 16 MHz	39
Obr. 9.4: Frekvenční spektrum s krystalovým rezonátorem 8MHz. <i>Var13</i>	40
Obr. 9.5: Rozložení frekvence 8MHz	40
Obr. 9.6: Rozložení frekvence 16MHz	40
Obr. 9.7 Rozložení frekvence 32MHz	41
Obr. 11.1: Návrh desky plošného spoje vrstvy TOP (vlevo) vrstva Bottom s mikroprocesorem (vpravo)	42
Obr. 11.2: Vyrobená a osazená deska Spark board new	42
Obr. 11.3: Frekvenční spektrum nového návrhu aplikace Spark board new. <i>Var1</i>	43
Obr. 11.4: Rozložení frekvence 16MHz	43
Obr. 11.5 Rozložení frekvence 32MHz	44
Obr. 11.6: Frekvenční spektrum nové desky s externím krystalem. <i>Var3</i>	44
Obr. 11.7: Rozložení frekvencí s použitím krystalového rezonátoru 16 MHz vlevo a 32 MHz vpravo .	45
Obr. 16.1: Modul LCD displeje propojený přes SPI s aplikací Spark board.....	49
Obr. 16.2: Celkové schéma aplikace na které se bude měřit EMC , verze Spark board.....	Příloha 1
Obr. 16.3: Schéma modulu s LCD displejem pro ovládání měřených aplikací.....	Příloha 2
Obr. 16.4: Schéma aplikace Spark board NEW s použitím návrhových pravidel EMC	Příloha 3

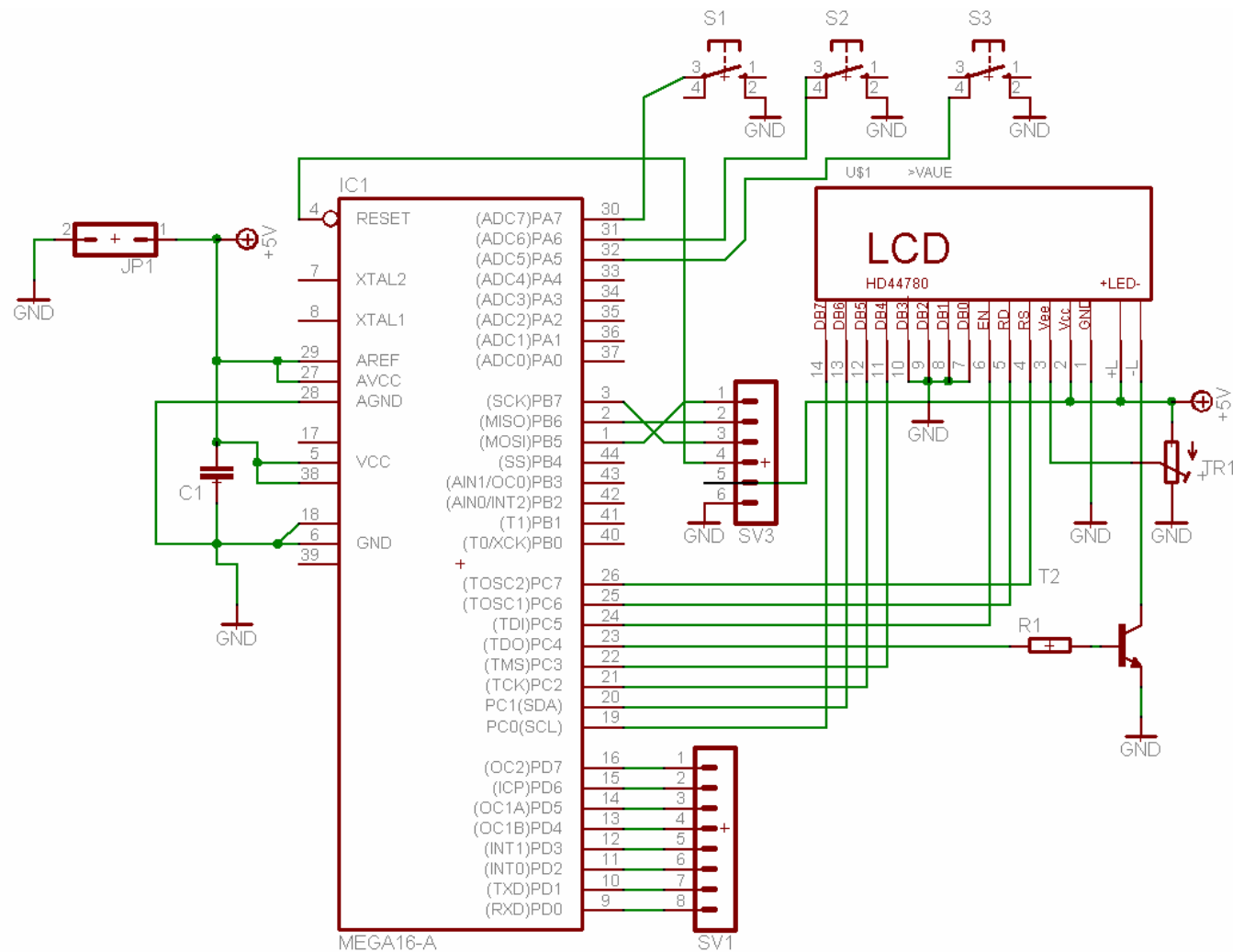
Obr. 16.5: Jednotlivé varianty desek plošného spoje experimentálních vzorků pro měření EMI. Vlevo strana Bottom s mikroprocesorem a vpravo strana Top s přidavnými stínícími deskami.....	Příloha 4
Obr. 16.6: Rozložení 49MHz desky CPU_only #1 – bez stínění.....	Příloha 5
Obr. 16.7: frekvence 74MHz deska #1 bez stínění	Příloha 5
Obr. 16.8: Spektrum CPU only #3 kde stínící deska je připojena na GND. Var1.....	Příloha 5
Obr. 16.9: Rozložení frekvence 16 MHz	Příloha 5
Obr. 16.10: Spektrum desky #3 kde byla stínící deska připojena na Vcc (+5V). Var2	Příloha 6
Obr. 16.11: Rozložení na 32MHz #3 var2.....	Příloha 6
Obr. 16.12: Rozložení na 49MHz #3 Var2	Příloha 6
Obr. 16.13: Frekvence 32 MHz u desky #3 - deska na GND , napájení 4.85V, kondenzátor 12 mm. Var1	Příloha 6
Obr. 16.14: Pracoviště pro měření blízkého pole scannerem Detectus a spektrální analyzátor ROHDE&SCHWARZ ve firmě Honeywell	Příloha 10

16 Přílohy



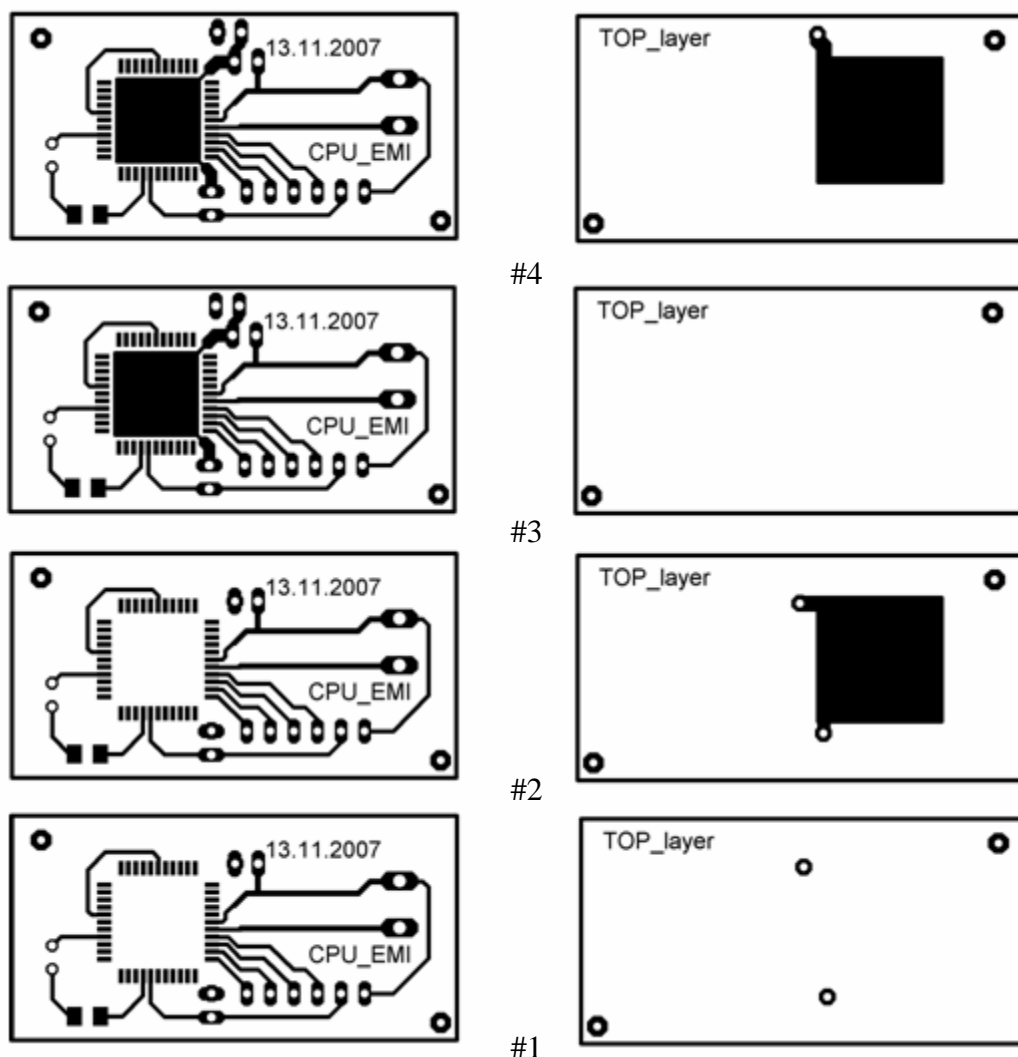
Obr. 16.1: Modul LCD displeje propojený přes SPI s aplikací Spark board

Obr. 16.2: Celkové schéma aplikace na které se bude měřit EMC , verze Spark board



Obr. 16.3: Schéma modulu s LCD displejem pro ovládání měřených aplikací

Obr. 16.4: Schéma aplikace Spark board NEW s použitím návrhových pravidel EMC

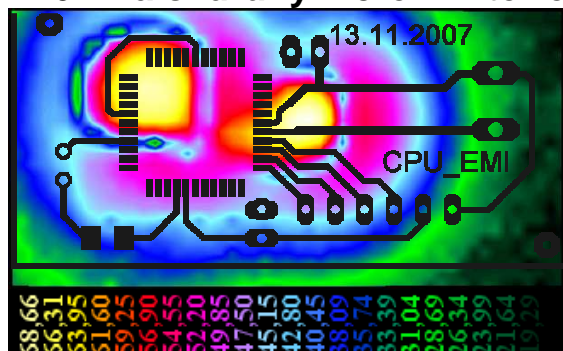


Obr. 16.5: Jednotlivé varianty desek plošného spoje experimentálních vzorků pro měření EMI. Vlevo strana Bottom s mikroprocesorem a vpravo strana Top s přídatnými stínícími deskami

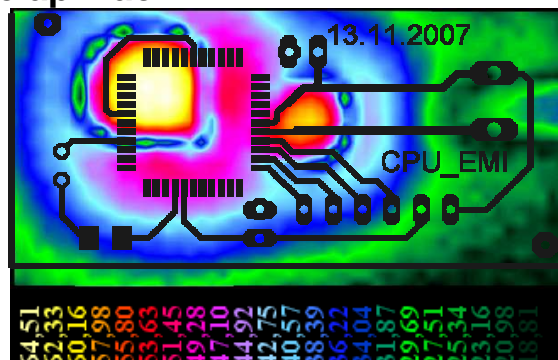
16.1 Ovládání programu Detectus

Software na ovládání skeneru a spektrálního analyzáru ROHDE\$SCHWARZ a na prohlížení naměřených dat se jmenuje Detectus Scanner software. Spuštěním souboru dss20.exe v adresáři „Detectus DSS“ spustíme program a pro otevření zdrojového souboru naměřených dat se nejprve přepneme do listu *View Scan* a následně přes ikonku *Open* se otevře dialogové okno pro zvolení souboru. Zde vybereme soubor typu *MultiScan measurements* a následně vybereme požadovaný soubor s příponou „.ms2d“. Po potvrzení tlačítkem *Open* se již zobrazí naměřené spektrum a umístěním kurzoru můžeme vybrat konkrétní frekvenci, která se zobrazí v plošném rozložení na měřené desce.

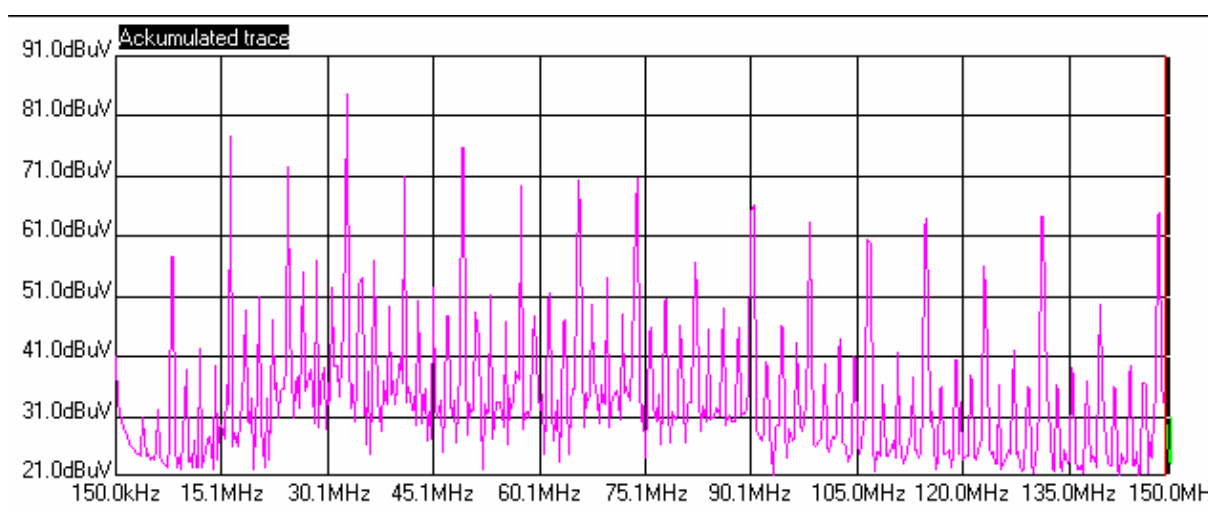
16.2 Další druhy měření interference aplikací



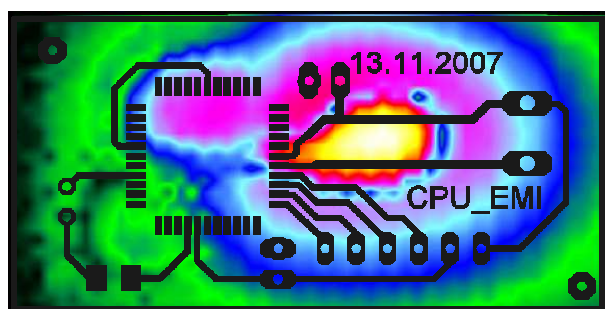
Obr. 16.6: Rozložení 49MHz desky CPU_only #1 – bez stínění



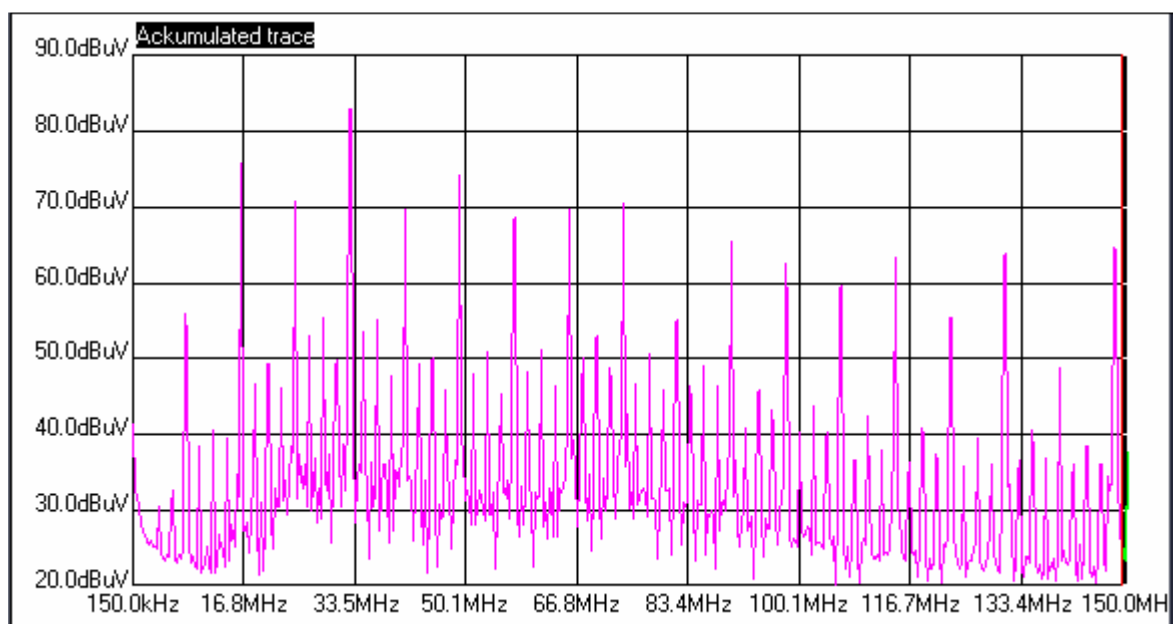
Obr. 16.7: frekvence 74MHz deska #1 bez stínění



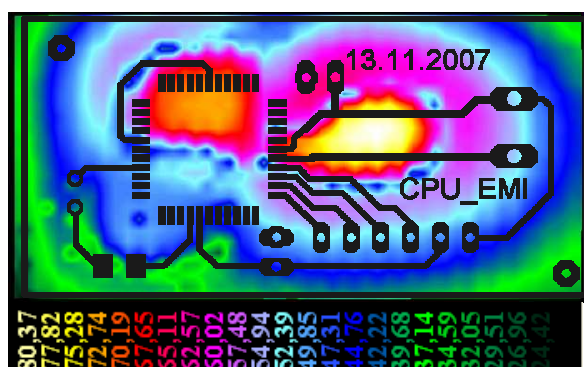
Obr. 16.8: Spektrum CPU only #3 kde stinici deska je připojena na GND. Var1



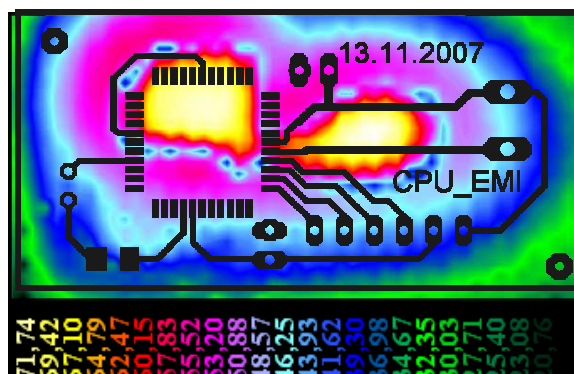
Obr. 16.9: Rozložení frekvence 16 MHz



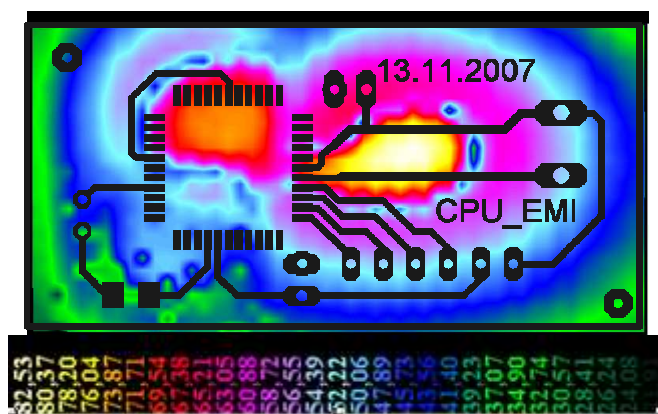
Obr. 16.10: Spektrum desky #3 kde byla stínící deska připojena na Vcc (+5V). Var2



Obr. 16.11: Rozložení na 32MHz #3 var2



Obr. 16.12: Rozložení na 49MHz #3 Var2



Obr. 16.13: Frekvence 32 MHz u desky #3 - deska na GND , napájení 4.85V, kondenzátor 12 mm. Var1

16.3 Znění norem

Tento text norem je citován z [1] – Elektromagnetická kompatibilita Polina Vaculíková

EN 55022 Meze a metody měření charakteristik radiového rušení způsobených zařízeními informační techniky

Norma stanoví postupy měření v pásmu 9 kHz až 4000Hz, ale specifikuje meze v pásmu 0,15 MHz až 1GHz pro zařízení informační techniky. Zařízení informační techniky ITE (Information Technology Equipment) mohou být potenciálním zdrojem rušení radiového příjmu. Rušení se přenáší síťovým kabelem, signálovým nebo jiným vedením a vyzařováním.

ITE lze definovat jako libovolné zařízení, jehož prvotní funkcí je vstup, ukládání, zobrazování, vyhledávání, zpracování, propojování nebo řízení datových a telekomunikačních zpráv nebo jejich kombinací. Muže být vybaveno jednou nebo více koncovými (česky) branami, typickými pro přenos informací. Vstupní napětí nemá přesahovat 600 V.

Tato definice zahrnuje například zařízení pro zpracování dat, kancelářské stroje, obchodní elektronická zařízení a telekomunikační zařízení. Reprezentativní pro zkoušky ITE je systém obsahující jednu či více hostitelských jednotek. Hostitelská jednotka je část systému ITE, která zajišťuje mechanické uchycení modulu, může obsahovat vf zdroje a zajišťovat napájení jiného ITE. Moduluje část ITE zajišťující nějakou funkci a může obsahovat vf zdroje. Moduly a ITE, které jsou vyráběny v určitém množství podle daných výrobních specifikací, se považují za shodné.

Třídění ITE

ITE jsou rozděleny do dvou kategorií: - třída A a třída B.

Zařízení třídy A je ITE, které vyhovuje mezím rušení pro třídu A, ale nevyhovuje mezím třídy B. V některých zemích může být omezen prodej nebo použití takového zařízení. ITE třídy A musí obsahovat v návodu k použití upozornění:

Upozornění

Toto je výrobek třídy A. Ve vnitřním prostředí může tento výrobek způsobovat radiové rušení. V takovém případě může být požadováno, aby uživatel přijal příslušná opatření.

Zařízení třídy B je ITE, které vyhovuje mezím rušení pro třídu B. Třída B je určena především pro použití ve vnitřním prostředí a může zahrnovat:

- zařízení bez pevného místa použití, například přenosná zařízení, napájená z vestavených baterií,
- telekomunikační koncová zařízení napájená z telekomunikační sítě,
- osobní počítače a pomocná přípojná zařízení.

Poznámka: Vnitřní prostředí je prostředí, kde lze předpokládat použití rozhlasových a televizních přijímačů do vzdálenosti do 10m od uvedených přístrojů.

Meze svorkového rušivého napětí.

Meze jsou uvedeny v Tabulka 4.1. Jestliže při měření přijímačem s detektorem kvazišpičkové hodnoty je splněna mez pro střední hodnotu, je zkoušené zařízení považováno jako vyhovující pro obě meze a měření střední hodnoty v režimu s detektorem střední hodnoty není potřebné. Vykazuje-li údaj měřicího přijímače

kolísání hodnoty blízko meze, musí být měření sledováno nejméně 15 s na každém kmitočtu. Zaznamenává se nejvyšší údaj mimo krátkých osamocených výchylek, které se zanedbávají.

Tabulka 16.1: Meze rušivého napětí na síťových svorkách v kmitočtovém pásmu 0,15 až 30 MHz

Kmitočtové pásmo [MHz]	Zařízení třídy A		Zařízení třídy B	
	Mezní hodnoty [dB μ V]		Mezní hodnoty [dB μ V]	
	Kvazišpičková (QP)	Střední (AV)	Kvazišpičková (QP)	Střední (AV)
0,15 - 0,5	79	66	66 - 56	56 - 46
0,5 - 5	73	60	56	46
5 - 30	73	60	60	60

Meze pro kmitočtové pásmo 9 kHz až 150kHz a meze pro sdělovací vedení zatím ještě nejsou stanoveny.

Meze intenzity rušivého pole

Meze jsou uvedeny v tabulce 2.50. Při kolísání údajů přístrojů platí stejné ustanovení jako v případě měření svorkových rušivých napětí. Pro kmitočet na rozhraní pásem platí nižší mez.

Tabulka 16.2: Meze rušivého pole v kmitočtovém pásmu 30 MHz až 1000 MHz

Kmitočtové pásmo [MHz]	Zařízení třídy A, měřící vzdálenost 30m	Zařízení třídy B, měřící vzdálenost 10m
	Kvazišpičková mez [dB μ V]	Kvazišpičková mez [dB μ V]
30 – 230	40	30
230 - 1000	47	37

Meze v kmitočtovém rozsahu do 30 MHz zatím ještě nejsou stanoveny.

Všeobecné podmínky měření

Úroveň vnějšího rušení musí být minimálně 6 dB pod mezními hodnotami uvedenými v tabulkách. Zkouší se při vypnutém ITE. Je-li hodnota vnějšího rušení větší než 6 dB, ale rušení od ITE při tom nepřesahuje odpovídající meze, není třeba velikost vnějšího rušení snižovat. Rušení způsobené měřeným ITE v tomto případě je považováno za vyhovující příslušné mezi. Když při společném působení vnějšího rušení a rušení způsobené ITE je překročena určená mez, je třeba dokázat, že na každém kmitočtu měření jsou splněny dvě podmínky:

- úroveň vnějšího rušení je min. 6 dB pod úrovní současného působení rušení od sledovaného ITE a vnějšího rušení,
- úroveň vnějšího rušení je min. 4,8 dB pod určenou mezí.

Při uspořádání měření je třeba dosáhnout nejvyššího vyzařování vzorku změnami konfigurací typických pro jeho provoz. Toto uspořádání musí být zaznamenáno ve zprávě o měření. Propojovací kabely musí být připojeny na dostupné normované rozhraní zkoušené jednotky. Musí být takového typu a délky, jak je to určeno v provozních pokynech pro jednotlivá ITE. Je-li délka kabelu měnitelná, zkouší se taková délka, při které je vyzařování maximální. Přebytná délka kabelu se zkrátí stočením kabelu do svazku o délce 30 až 40 cm. Všechny odchylky od uvedených požadavků musí být přesně zaznamenány ve zprávě.

Při větším počtu rozhraní stejného typu stačí připojit kabel jen k jednomu za předpokladu, že lze prokázat, že připojení dalších kabelů neovlivní výsledky měření.

Ve zkoušené sestavě ITE musí pracovat jeden modul každého typu. V případě systému se zkouší každý typ ITE, který může být obsažen v eventuální sestavě. V případě zkoušených zařízení funkčně spolupracujících s jinými ITE může být použito jak skutečné ITE ve funkci rozhraní, tak i simulátor za předpokladu, že má odpovídající elektrické a mechanické parametry a že jeho vlivy mohou být odděleny nebo identifikovány.

Je-li ITE konstruováno jako hostitelská jednotka pro napájení jiného ITE je žádoucí, aby bylo připojeno, což zaručí normální pracovní podmínky sestavy.

Poloha zkoušené jednotky vzhledem k umělé zemi musí být stejná jako v provozních podmínkách, tzn. ITE provozovaná na podlaze musí být umístěna na umělé zemi nebo izolační podlaze blízko umělé země a přenosná ITE musí stát na nekovovém stole.

Silové a sdělovací kabely musí být umístěny vzhledem k umělé zemi způsobem odpovídajícím praktickému použití.

CSN EN 55014 Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji

Předmětem normy jsou meze rušení a měřicí metody pro skupiny výrobku:

- zařízení poháněná elektrickým motorem pro domácnost a podobné účely, jako například pračky, ledničky, elektrické mlýnky, kuchyňské roboty, vysavače, hodiny, masážní přístroje, fény, ventilátory a sušičky, holicí strojky, šicí stroje, elektromechanické kancelářské stroje, projektory, elektrické dojičky, sekačky trávy atd.,
- elektrické nářadí napájené přímo ze sítě nebo přes transformátor, jako například přenosné ruční vrtačky, pily, nože, nůžky, řezačky, hoblovky, brusky, leštice apod., převozní (semistacionární) motorové nářadí, pájecí přístroje, lepicí, tepelné a stříkací pistole, vibrátory atd.,
- lékařské elektrické přístroje s motorovým pohonem, jako například zubní vrtačky, pily, nože, kardiografy a podobná záznamová zařízení, čerpadla atd.,
- elektrická vyhřívací zařízení -sporáky, varné pánve a desky, stolní grily, ohříváče jídla, vody, mléka apod., kávovary, sterilizátory, průtokové ohříváče a zásobníky vody, generátory páry, pečicí trouby (pro případnou mikrovlnnou funkci platí CSN EN 55014), žehlící stroje, ohebné spotřebiče pro elektrický ohřev (elektrické podušky, deky apod.), spotřebiče pro vytápění místností atd.
- prodejní automaty, zábavní stroje a podobná zařízení, k nimž například patří hrací skříně, hrací stroje, video automaty apod.,
- elektrické hračky pohybující se po kolejkách a jednotlivé pohyblivé hračky, například automobily,
- různé přístroje a zařízení: časové spínače, napájecí jednotky elektrických ohradníků, elektrické zapalovače plynu, hubiče hmyzu, elektrostatické čističe vzduchu, nabíječe, usměrňovače, měniče, zdvihací zařízení.

Meze rušení

Tato norma nespecifikuje meze rušení v pásmech pod 150 kHz a nad 300 MHz, pokud to není stanoveno jinak pro určitý druh spotřebičů. Rušení od zařízení, pro která platí tato norma, se dělí ve smyslu definice IEC 50, kapitola 902 na rušení spojitě (trvalé) a nespojitě (mžikové). V závislosti na tomto třídění jsou stanoveny

meze a metody měření pro zařízení produkující spojitě (trvalé) rušení a zařízení, jež jsou zdrojem nespojitého rušení.

Spojitě rušení

Toto rušení v závislosti na původu se dělí na širokopásmové a úzkopásmové.

Širokopásmové rušení způsobené komutátorovými motory nebo spínacími kontaktními součástmi (spínače, přerušovače apod.) a bezkontaktními (měniče s polovodičovými součástkami) se měří přijímačem obsahujícím kvazišpičkový detektor v režimu QP.

Úzkopásmové rušení způsobené elektronickými řídicími součástkami, jako například mikroprocesory, se měří přijímačem s detektorem střední hodnoty v režimu AV.

Měřicí přijímač v obou případech musí odpovídat požadavkům CISPR 16.

Meze pro spojitě měření

V pásmu 150 kHz až 30 MHz se měří rušivé svorkové napětí s použitím umělé sítě 50 Q/50 IIH typu V. Pokud umělá síť nemůže být použita, například u zařízení, jehož fázový proud $I > 25$ A, měří se rušivé napětí napěťovou sondou. V pásmu od 30 MHz do 300 MHz se měří rušivý výkon s použitím absorpčních kleští. U regulačních obvodů obsahujících polovodičové součástky nejsou stanoveny meze rušivého výkonu.

Pro svorky, které lze použít jako síťové, anebo pro svorky pro přídavnou zátěž platí meze pro síťové svorky.

Na zatěžovacích a přídavných svorkách se měří napěťovou vysokoimpedanční sondou.



Obr. 16.14: Pracoviště pro měření blízkého pole scannerem Detectus a spektrální analyzátor ROHDE&SCHWARZ ve firmě Honeywell